

Juha Vallius

Yleisäänentoistojärjestelmän osat

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan Koulutusohjelma


Toukokuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 06.05.2013	
Tekijä(t) Juha Vallius		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Yleisäänentoistojärjestelmän osat			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Vaajakosken kirkossa käytettävän äänentoistojärjestelmän ongelmia sekä pohtia ratkaisut niiden selvittämiseksi. Järjestelmän ongelmat olivat pääasiallisesti käytettyyn laitteistoon liittyviä, mutta myös laitteiston käyttäjien tietotaidoissa oli parantamisen varaa.</p> <p>Työssä käytiin läpi oleelliset tiedot äänen fysiikasta sekä äänentoistojärjestelmän rakenteesta ja laitteista. Näiden tietojen avulla laitteiston käyttäjät saavat hyvät perustiedot äänen ominaisuuksista sekä äänentoistojärjestelmän laitteiden toiminnasta ja niiden suomista mahdollisuuksista onnistuneen äänentoiston toteuttamiseen.</p> <p>Työssä tutkittiin myös kirkossa käytettävän äänentoistojärjestelmän laitteistoa ja sen toimintaa. Järjestelmässä esiintyvien ongelmien ratkaisuun pohdittiin ratkaisua monesta eri näkökulmasta. Ongelmien korjaamiseksi haettiin vertailukohtaa uusista tekniikoista, joita laitevalmistajilla on tarjota. Näiden tekniikoiden avulla saatiin aikaan vertailutuloksia, jotka puhuvat puolestaan. Näiden tulosten avulla toimeksiantaja saa hyvän näkökulman mahdolliseen laitteiston kehittämiseen ja tuleviin hankintoihin.</p>			
Asiasanat (avainsanat) ääni, äänentoisto, äänentoistojärjestelmä, mikrofoni, kaiutin			
Sivumäärä 61	Kieli suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Osmo Ojamies		Opinnäytetyön toimeksiantaja Jyväskylän seurakunta	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the master's thesis 06.05.2013	
Author(s) Juha Vallius		Degree programme and option Electrical engineering	
Name of the master's thesis Parts of public address system			
Abstract <p>The purpose of this thesis was to examine the problems of public address system located in church of Vaajakoski and find solutions for them. Problems of the systems were mainly concerning equipment that had been used but also serious lack of knowledge by the operators.</p> <p>Relevant principals of the sound physics, structure of the public address system including it's equipments are discussed in this thesis. Because of this information, the operators get good basic knowledge about the features of sound and operations of public address system equipments. Because of that they will get good possibilities to succeed in sound reinforcement.</p> <p>The public address system of church and it`s functions are also examined in this thesis. The problems of the system are considered in many different points of view to find the solution. New technics that the manufacturers are offering were used to compare to fix the problems. With the help of these new technics, results were gotten that speak for themselves. Because of these results the assigner gets a good perspective of how to improve the system and how to make future purchases.</p>			
Subject headings, (keywords) sound, sound reinforcement, public address system, microphone, speaker			
Pages 61		Language finnish	
URN 			
Remarks, notes on appendices 			
Tutor Osmo Ojamies		Master's thesis assigned by Parish of Jyväskylä	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ÄÄNI FYSIIKAN ILMIÖNÄ	2
2.1	Taajuus	2
2.2	Aallon pituus	3
2.3	Amplitudi	3
2.4	Äänenvoimakkuus	3
2.5	Vaihe-ero ja ääniaaltojen summautuminen	5
2.6	Äänen vaimeneminen ja heijastuminen	5
3	ÄÄNEN KUULEMINEN JA MITTAAMINEN	6
3.1	Äänenpainetaso ja vaikutusaika	6
3.2	Taajuuden vaikutus kuuloaistimukseen	7
3.3	Painotussuotimet ja aikapainotukset	8
3.4	Äänen eri kuvaamistapoja	9
3.4.1	Graafinen esitys	9
3.4.2	Spektri	9
3.4.3	Sonogrammi	10
3.4.4	Kolmiulotteinen esitystapa	10
4	ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄ	11
4.1	Yleisäänentoistojärjestelmä	11
4.2	Äänentoistojärjestelmän toimintaperiaate	12
4.3	Äänen laatu	12
4.4	Akustinen kierto	13
4.5	Akustisen kierron ehkäisy	13
4.5.1	Kaiuttimen sijoittelu ja suuntaus	14
4.5.2	Mikrofonien sijoittelu ja suuntakuvio	14
4.5.3	Lähimikitys	14
4.5.4	Taajuusvasteen muokkaus eli ekvalisointi	14
4.5.5	Kierronestolaitteet	15
4.5.6	Vaiheenkääntö ja viivästäminen	15
4.5.7	Mikrofonin vahvistuksen pienentäminen	15
5	ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN OSAT	16
5.1	Ohjelmälähteet	16

5.2	Mikrofonit.....	16
5.2.1	Mikrofonien sähköiset toimintaperiaatteet.....	17
5.2.2	Mikrofonien suuntakuviot	21
5.2.3	Mikrofonien muut sähköiset ominaisuudet	25
5.2.4	Mikrofonien tuulisuojat ja pop-filtterit	26
5.3	Esivahvistin.....	27
5.4	Äänipöytä eli mikseri	27
5.4.1	Äänipöydän kapasiteetti	27
5.4.2	Äänipöydän ominaisuudet	28
5.4.3	Äänipöydän sähköinen toimintaperiaate	28
5.5	Äänenmuokkauslaitteet	30
5.5.1	Taajuussisältöön vaikuttavat laitteet	30
5.5.2	Äänenvoimakkuussuhteeseen vaikuttavat laitteet	31
5.5.3	Viivästämiseen vaikuttavat laitteet	32
5.6	Päätevahvistin	32
5.7	Kaiutin	35
5.7.1	Koteloitu kaiutin	36
5.7.2	Kaiuttimen sähköiset ominaisuudet	37
5.7.3	Linjasäteilijät	39
5.8	Äänentoistojärjestelmän muut osat	44
5.8.1	Norminmukainen äänihälytysjärjestelmä	44
5.8.2	Huonokuuloisten äänijärjestelmä.....	46
6	VAAJAKOSKEN KIRKKO	47
6.1	Kirkon äänentoistojärjestelmä	47
6.2	Laitteisto	49
6.2.1	Mikrofonit ja ohjelmalähteet	49
6.2.2	Ohjausjärjestelmä	49
6.2.3	Kaiutinlinjat ja induktiosilmukka	51
6.3	Äänentoiston ongelmat ja ratkaisut	52
6.3.1	Kirkkosalin äänen laatu ja kuuluvuus	52
6.3.2	Akustiset kierto-ongelmat	58
6.3.3	Järjestelmän käytettävyys ja käyttäjät	60
	LÄHTEET	62

1 JOHDANTO

Yleisäänentoistojärjestelmiä (Public address) eli vanhanaikaisesti keskusradiojärjestelmiä käytetään julkisissa tiloissa ääniohjelmien ja kuulutusten välittämiseen. Äänentoistojärjestelmän tärkein tehtävä on siirtää haluttu viesti tai ääniohjelma kuulijalle.

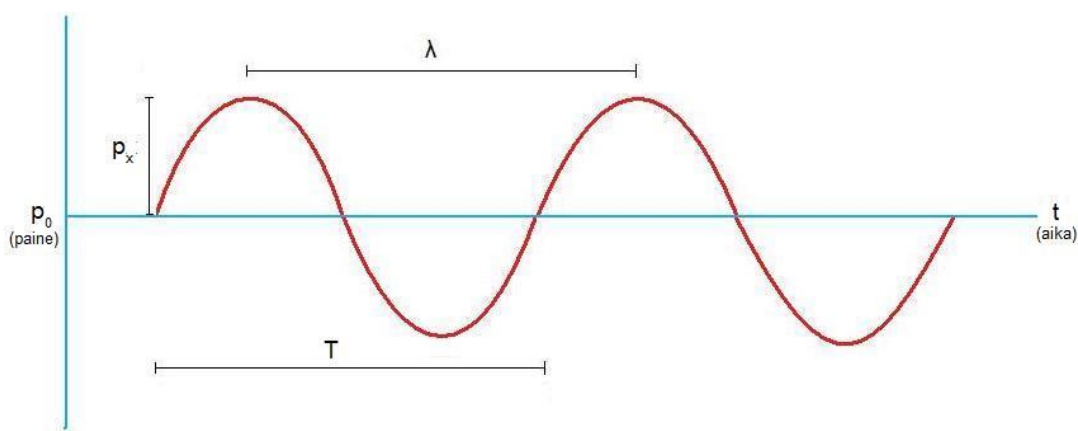
Viime vuosisadalta alkanut huima kehitys äänentoistolaitteiden saralla on myös nostanut kuulevan yleisön vaatimuksia äänen laadun suhteen. Jokainen tavallinen ihminen on tottunut jo kotonaan kuuntelemaan varsin laadukasta ääntä omien kotistereoiden tai korvakuulokkeiden kautta. Tästä syystä oletetaan, että julkisissa tiloissa, konserteissa ja yleisötapauksissa kuultava äänentoisto olisi laadultaan samaa luokkaa, jopa parempaa. Suuriin tiloihin ja suurille yleisömäärille suunnattu äänentoisto hyvällä äänenlaadulla vaatii kuitenkin laitteistolta erinomaista laatua ja suorituskykyä. Myös kuuntelutilan akustiikan merkitys on keskeinen tekijä äänen laadun suhteen.

Nykyiset äänen sähköiset tallennus- ja siirtoketjut vahvistamiseen ovat hyvin vähähäiriöisiä tai digitaalisesti toteutettuina lähes häiriöttömiä, mutta analogisesti toimivat mikrofonit ja varsinkin sen hintaluokan kaiuttimet, joita yleisäänentoistojärjestelmissä käytetään, muokkaavat ja värittävät ääntä hyvinkin voimakkaasti. Tämä yhdessä huonetilojen puutteellisen akustiikan kanssa tuottaa usein vaikeuksia varsinkin puheviestin riittävän ymmärrettävyyden saavuttamisessa. Puheen ymmärrettävyys kuitenkin on yksi yleisäänentoistojärjestelmän tärkeimpiä vaatimuksia, hälytyskäytössä se on jopa normitettu, eli ymmärrettävyydelle on määritelty tietyt vähimmäisvaatimukset.

Yleisäänentoistojärjestelmän suunnittelussa laitteiston laatukriteerit tulisikin entistä voimakkaammin kohdistaa kaiutinvetkon ja tilojen akustiikan suuntaan. Elektroniikan osalta ei ammattikäyttöön tarkoitettujen laitteiden osalta äänen laatuun liittyviä ongelmia juurikaan ilmene. Äänentoistojärjestelmän laatu riippuu paitsi em. laitteista myös inhimillisestä tekijästä. Paraskin äänentoistojärjestelmä seisoo tai kaatuu sen mukaan, osaako sitä kukaan käyttää. [4, s. 26.]

2 ÄÄNI FYSIIKAN ILMIÖNÄ

Ääni on fysikaalisesti väliaineessa etenevää paineenvaihtelua. Se on luonteeltaan nopeasti etenevää aaltoliikettä. Äänen nopeus riippuu pitkälti väliaineen ominaisuuksista. Tyypillisesti väliaineena toimii ilma. Ilman lämpötila on merkittävin tekijä äänen nopeutta tarkisteltaessa, mutta myös ilmanpaine sekä kosteus vaikuttavat tietyssä määrin äänen etenemisnopeuteen. Normaaliolosuhteissa ääni etenee ilmassa n. 342 metriä sekunnissa. Kuvassa 1 on esitetty ääniaallon muotoon vaikuttavat tekijät: aallon pituus λ ja amplitudi p_x . [1, s. 27.]



KUVA 1. Ääniaallon paineenvaihtelu ajan funktiona

2.1 Taajuus

Taajuus ilmaisee äänen sävelkorkeutta. Taajuus määritetään selvittämällä ääniaallon yhden jakson kesto aika eli jakson aika. Mitä nopeampi jakson aika ääniaallolla on, sitä korkeampana kuulemme sen. Taajuuden yksikkö on hertsi (Hz), mikä tarkoittaa, montako kertaa ääniaallon yksi jakso toistuu yhden sekunnin aikana.

Taajuus (f) lasketaan kaavan 1 mukaisesti

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

jossa T on jakson aika.

Ihmisen kuuloelimet muuttavat paineenvaihtelun kuulemamme ääneksi. Ihmisen kuuloalue on rajallinen, n.20–20 000Hz. Tämän taajuusalueen alapuolelle sijoittuvia

taajuuksia kutsutaan infraääniksi ja taajuusalueen yläpuolella olevia taajuuksia kutsutaan ultraääniksi.

2.2 Aallon pituus

Aallon pituudella tarkoitetaan ääniaallon pituutta väliaineessa. Aallon pituus kertoo paljon äänen luonteesta. Mitä pidempi ääniaalto on, sitä helpommin se läpäisee kevyitä rakenteita ja kiertää eteensä tulevia esteitä. Lyhyet ääniaallot taas heijastuvat rakenteista ja esteistä. Aallon pituus (λ) lasketaan kaavan 2 mukaisesti

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

jossa c on äänen nopeus ja f taajuus.

2.3 Amplitudi

Amplitudilla tarkoitetaan ääniaallon paineen muutosta väliaineessa. Amplitudin avulla voidaan määrittää äänenvoimakkuus. Koska paineen muutos tapahtuu väliaineessa siniaallon muodossa, amplitudi joudutaan muuttamaan tehollisarvoksi jatkuvan paineen muutoksen laskemiseksi. Amplitudi muutetaan äänenpaineen tehollisarvoksi (p) kaavan 3 mukaisesti

$$p = \frac{p_x}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

jossa p_x on amplitudi.

2.4 Äänenvoimakkuus

Äänenvoimakkuudella tarkoitetaan äänenpainetasoa. Äänenpainetasoa mitataan logaritmisella asteikolla, koska se vastaa parhaiten tapaa aistia äänien voimakkuussuhteita.

Äänenpaineen yksikkö on desibeli (dB). Desibeli on vertailuyksikkö joka kertoo kahden arvon keskinäisen suhteen. Vertailuäänepaineena käytetään yleisesti 20 μPa (mikropascalia), joka vastaa ihmiskorvan kuulokynnystä keskitaajuusalueella [2, s. 11.]

Äänenpainetaso (SPL) lasketaan kaavan 4 mukaisesti

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

jossa p on äänenpaineen tehollisarvo ja p₀ vertailuäänepaine (20 µPa).

Äänenpainetasoa verrataan siis 0:aan desibeliin, joka on suunnilleen sama kuin normaalikuuloisen ihmisen kuulokynnys. Kaava käyttäessä huomataan, että äänenpaineen kaksinkertaistuessa äänenpainetaso nousee n.6 desibeliä. Kuuloaisti ei toimi äänenvoimakkuuden suhteen lineaarisesti eli suoraan verrannollisesti. Kaksinkertainen äänenpaine ei kuulosta kaksinkertaiselta, vaan ainoastaan hieman kovemmalta. Tämä puoltaa logaritmisuhteyksikön, desibelin, valintaa äänenvoimakkuustasojen kuvaajaksi. [1, s. 28.]

Taulukon 1 avulla saadaan hieman suuntaa erilaisista äänenpainetasoista, eri tilanteissa.

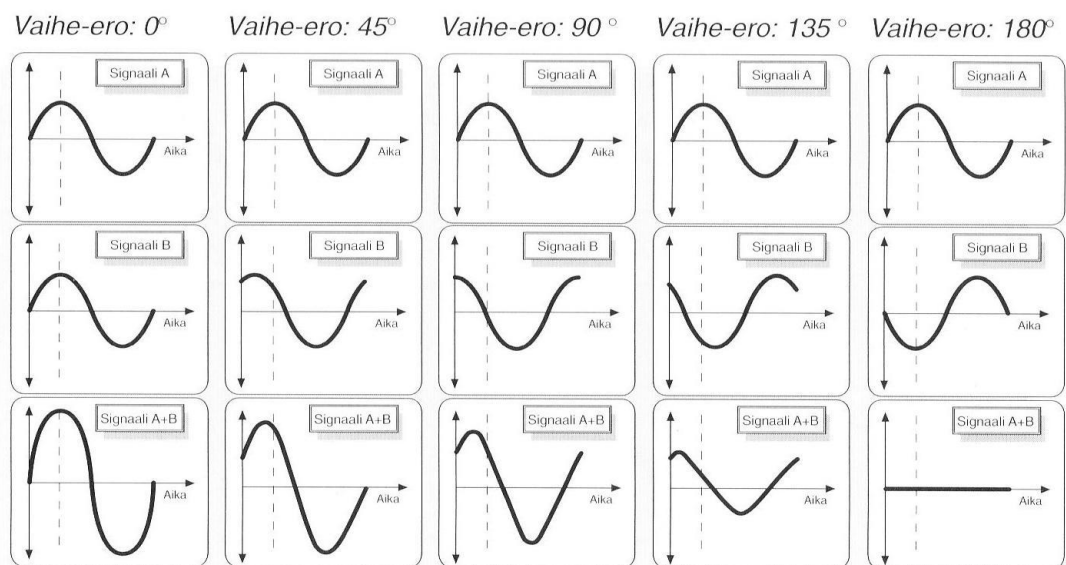
TAULUKKO 1. Hetkellinen äänenpainetaso eri äänilähteissä

SPL (dB)	Äänilähde
130	Kipuraja
120	Äänekäs konsertti
110	Sinfoniaorkesterin suurin äänitaso
100	Katupora
90	
80	Keskimääräinen hifi-kuuntelu
70	Henkilöauton tyypillinen sisämelu
60	
50	Tavallinen puhe
40	Konserttisalissa hiljaisin pianissimo
30	Hiljaisen asunnon taustamelu
20	Äänitysstudion taustamelu
10	Kaiuton huone
0	Ihmisen kuulokynnys

2.5 Vaihe-ero ja ääniaaltojen summautuminen

Ääniaaltojen käyttäytymiseen liittyy myös ominaisuus, jonka nimitys on vaihe. Se tarkoittaa ilmanpaineenvaihtelun kohtaa pienimmän ja suurimman painearvon välillä, jossa aaltoliike tarkasteluhetkellä on. Vaiheella on merkitystä erityisesti aaltojen sekoittuessa keskenään. [3, s. 15.]

Äänen ominaisuuksia kuvataan yleisesti yksinkertaisen siniaallon avulla, vaikka melkein kaikki akustisesti tuotetut äänet ovat ns. komplekseja aaltomuotoja. Nämä kompleksit voidaan kuitenkin aina purkaa useiksi yksittäisiksi siniaalloiksi. Vaihe-ero kuvaa kahden tai useamman aallon välistä aika- tai aste-eroa, ja se ilmaistaan asteina 0–360. Samassa vaiheessa olevien saman taajuuksien siniaaltojen tasoarvot summautuvat toisiinsa, kun taas 180 asteen vaihekulmassa etenevät saman taajuiset siniaallot kumoavat toisensa. Tällöin sanotaan aaltojen olevan vastakkaisvaiheessa. Vaihe-ero voi siis olla mikä tahansa näiden kahden ääritapauksen välillä. Kuvan 2 avulla voidaan tarkastella kahden eri vaiheessa olevan ääniaallon summautumista toisiinsa. [2, s. 10.]



KUVA 2. Eri vaiheessa olevien ääniaaltojen summautuminen [2, s. 10]

2.6 Äänen vaimeneminen ja heijastuminen

Kun ääni etenee väliaineessa, sen voimakkuus pienenee matkan kasvaessa. Esim. metrin etäisyydeltä kuultu ääni ei enää kuulosta yhtä voimakkaalta viiden metrin

päästä. Tämä johtuu siitä, että ääni muodostuu yleensä pieneltä alueelta, edetessään se leviää laajemmalle alueelle. Jos äänilähde on vapaassa kentässä, esimerkiksi ulkona, äänenpaine pienenee 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. [3, s. 16.]

Kun ääni saavuttaa jonkin tasopinnan, esimerkiksi seinän, osa siitä imeytyy eli absorboituu seinään ja osa välittyy sen läpi. Yleensä suurin osa heijastuu kuitenkin takaisin huoneeseen. Ääni heijastuu pinnoista kuten valo peilistä. Heijastuskulma on yhtä suuri kuin tulokulma. Jos äänen tiellä oleva esine on aallonpituuteen nähden pieni, ääni ohittaa sen jokseenkin muuttumattomana. Siten esimerkiksi kaiuttimen edessä oleva nojatuoli ei vaikuta matalien äänten kulkuun, vaikka sen vaikutus korkeilla äänillä on selvästi kuultavissa. [3, s. 16.]

3 ÄÄNEN KUULEMINEN JA MITTAAMINEN

Ihmisen kuulemisen kannalta äänen kaksi tärkeintä tekijää ovat taajuus ja äänenpainetaso. Ihmisen kuuloalue taajuuden kannalta melko laaja, n. 20Hz–20000Hz. Vanhemmiten kykymme aistia korkeita taajuuksia kuitenkin usein huononee, ja harva yli 60-vuotias kuulee taajuuksia yli 8 kHz:n.

Kuuloaistimuksen aiheuttavien ilmanpainemuutosten skaala on laaja ulottuen logaritmisella asteikolla aina kuulokynnyksestä (0 dB SPL) kipukynnykseen (120-130 dB SPL). Kuuntelutason ollessa voimakas alkaa korvan tärykalvo itsessään tuottaa vääristymää, ns. harmonista säröä, muuttaen täten kuultua äänenväriä. [2, s. 13.]

3.1 Äänenpainetaso ja vaikutusaika

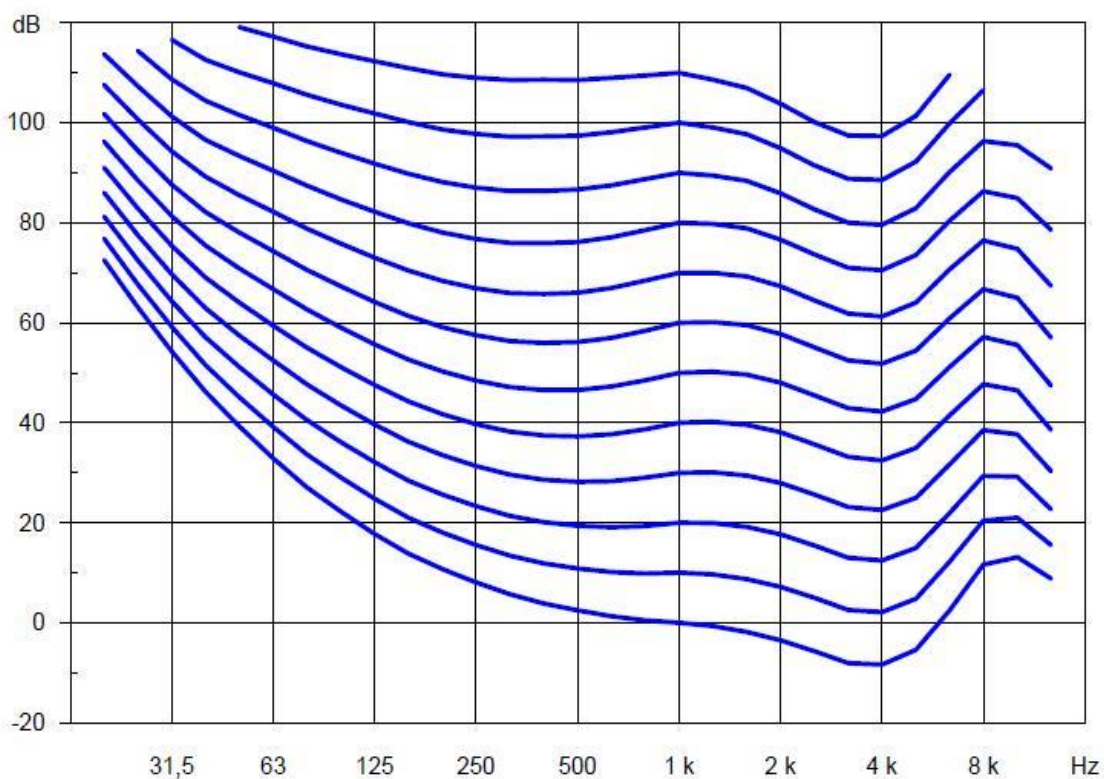
Kuulon vaurioitumisen kannalta merkittävä tekijä ei ainoastaan ole korkea äänenpainetaso vaan lisäksi äänenpaineen jatkuva vaikutusaika. Korkea äänenpainetaso aiheuttaa epämiellyttävän tunteen ja jopa kipua, joten se on helposti havaittavissa. Äänenpaineen vaikutus pitkällä ajalla on taas vaikeammin havaittavissa, mutta voi pahimmillaan aiheuttaa vakavia kuulovaurioita. Taulukossa 2 on esitetty Kuuloliiton määritetyt turvallisuusrajat, joita tulisi noudattaa työpaikoilla, yleisötapahtumissa, sekä kaikkialla, missä ihminen joutuu korkean äänenpaineen vaikutuksen alaiseksi.

TAULUKKO 2. Kuuloliiton määrittelemät turvallisuusrajat äänenpaineen vaikutukselle [8]

Jatkuva äänenpaine [SPL dB (A)]	Vaikutusaika
85	8 tuntia
88	4 tuntia
94	1 tunti
100	15 minuuttia
106	4 minuuttia
112	1 minuutti
115	ei lainkaan

3.2 Taajuuden vaikutus kuuloaistimukseen

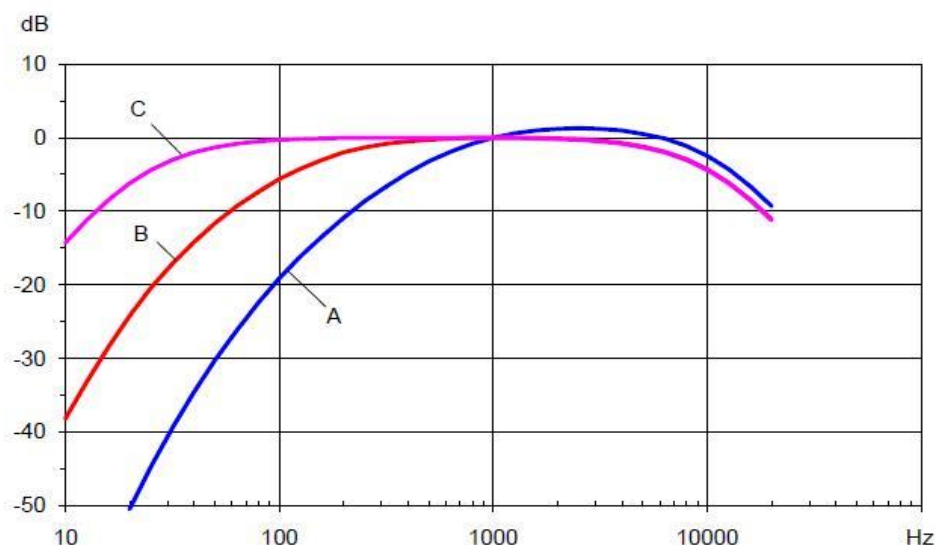
Korvan herkkyys aistia eri taajuuksia on suhteessa äänenvoimakkuuteen. Matalat ja korkeat taajuudet ovat vaikeita aistia alhaisella äänenvoimakkuudella, kun taas keskitaajuudet ovat korvillemme kaikista helpoiten aistittavat. Kuvassa 3 esitetyt Fletcher-Munson vakioäänekkyyskäyrät osoittavat ihmisen kuulon herkkyyttä eri taajuuksilla.



KUVA 3. Ihmisen kuuloaistin vakioäänekkyyskäyrät (SFS-ISO 226)

3.3 Painotussuotimet ja aikapainotukset

Koska ihmisen korva ei aisti kaikkia taajuuksia yhtä voimakkaasti, käytetään monesti äänenpainemittauksissa painotussuodatinta. Painotussuodattimia on kolme eri tyyppiä, A, B ja C. A-painotus on näistä käytetyin, koska se vastaa parhaiten ihmisen kuuloaistin tuntemuksia sekä soveltuu parhaiten kuulovaurioiden vaaran arvioimiseen kovilla äänenvoimakkuuksilla. Kuvassa 4 esitetään eri painotussuotimien vaimennuksia suhteessa taajuuteen.



KUVA 4. Painotussuotimet A, B ja C (IEC 651, SFS 2877)

Kun äänenpaine on mitattu jonkun painotuksen kanssa, sen yksikön perään laitetaan merkintä, mitä painotusta on käytetty mittauksessa esim. SPL 85 dB (A).

Äänenpaineen mittauksessa käytetään myös toista painotusta, aikapainotusta. Aikapainotuksen tarkoituksena on todennukaistaa mitattuja äänenpainetasoja näytteenottonopeuden eli aikavakion perusteella. Aikapainotuksia on kolme kappaletta, S (slow), F (fast) ja I (impulse). Kuvassa 5 esitetään vasteajat eri aikapainotuksille.

painotus		aikavakio, ms	integrointiaika*, ms	rajataajuus, Hz
S	(slow)	1000	2000	0,16
F	(fast)	125	250	1,27
I	(impulse)	35**	70	4,55

* tehollinen integrointiaika jatkuvalle satunnaissignaali; lyhyelle pulssille aikavakio = integrointiaika

** vain nousevalle signaalille; laskevalle aikavakio: 1,5 s

KUVA 5. Standardisoidut aikapainotukset

FAST-painotus vastaa näistä parhaiten ihmisen kuuloaistin toimintaa. SLOW-painotusta käytetään, silloin kun mitattavassa äänessä paineenvaihtelut ovat pieniä ja hitaita. IMPULSE-painotusta käytetään erittäin nopeiden, impulssimaisten äänenpaineiden mittaukseen, esimerkiksi ampumaratojen ympäristömelun mittaamiseen. IMPULSE-painotuksen käyttö on kuitenkin vähentymässä, koska vuosien tutkimusten perusteella se ei vastaa ihmisen kuuloaistimusta juuri ollenkaan. Tilalle onkin tullut vielä nopeampi PEAK-suodatin, joka soveltuu erittäin hyvin suurten äänenpaineiden kuulovauriovaaran arvioitiin. PEAK-suodatinta ei kuitenkaan luokitella aikapainotukseksi, vaan se on puhdas huippuilmaisoin.

Aikapainotusta käytettäessä mitattuun tulokseen merkitään, mitä painotusta on käytetty esim. 85 dB (A) slow.

3.4 Äänen eri kuvaamistapoja

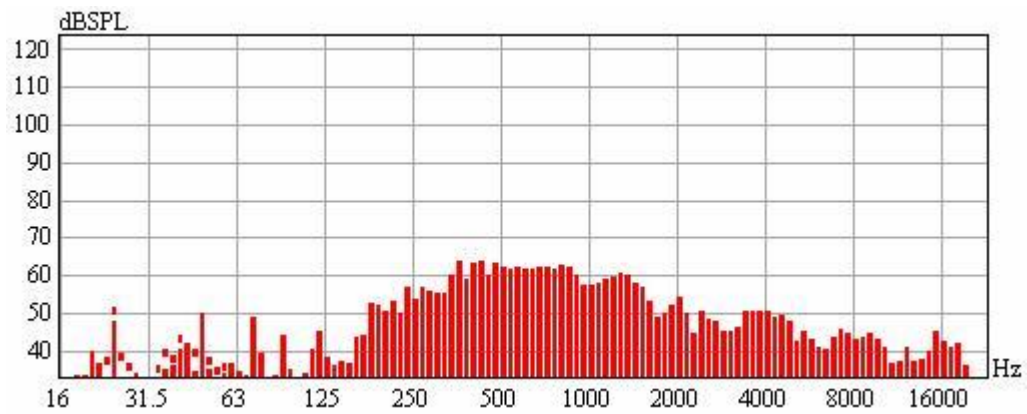
Kuten jo aiemmin todettiin, akustisesti tuotettu ääni on yleensä kompleksi aaltomuoto, mikä voidaan purkaa moniksi yksittäisiksi aalloiksi. Monien yksittäisten aaltojen tutkiminen ja analysointi on kuitenkin todella aikaa vievää ja hankalaa, joten tilalle on kehitetty erilaisia kuvaustapoja helpottamaan asiaa.

3.4.1 Graafinen esitys

Graafinen esitys on äänen kuvaamistavoista yksinkertaisin ja helppolukuisin. Toisaalta se sisältää myös vähiten tietoa verrattuna muihin kuvaamistapoihin. Graafisessa esityksessä havainnollistetaan äänenpainetason vaihtelua eri ajan hetkillä, kuten kuvassa 1 jo esitettiin.

3.4.2 Spektri

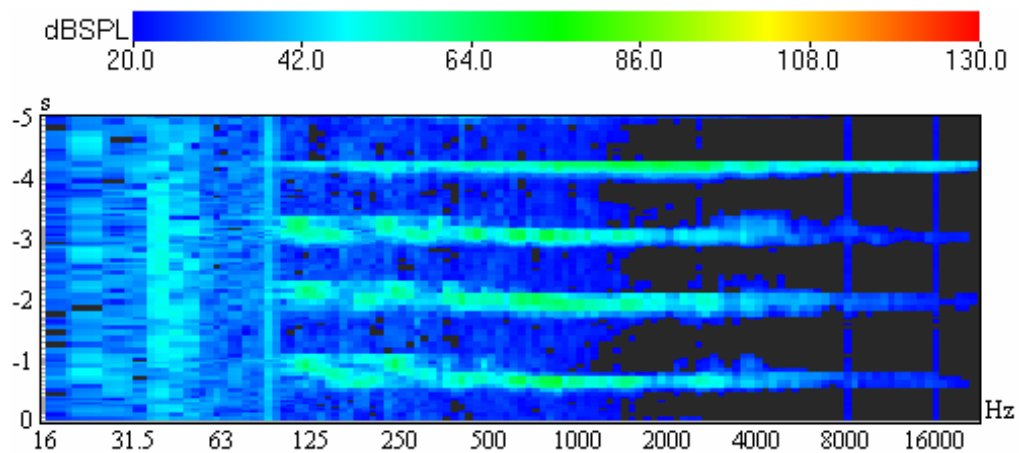
Spektrissä kuvataan eri taajuuksien tasoeroa tietyllä ajan hetkellä. Taajuusaluetta, jota käytetään spektrissä, nimitetään myös taajuuskaistaksi. Yleensä taajuusalueena toimii ihmisen kuuloalue 20–20000 Hz. Spektrin funktion kuvaaja on yleensä joko palkkimainen tai viivamainen. Kuvassa 6 on esitetty äänen spektri palkkimaisella kuvaajalla.



KUVA 5. Äänen spektri

3.4.3 Sonogrammi

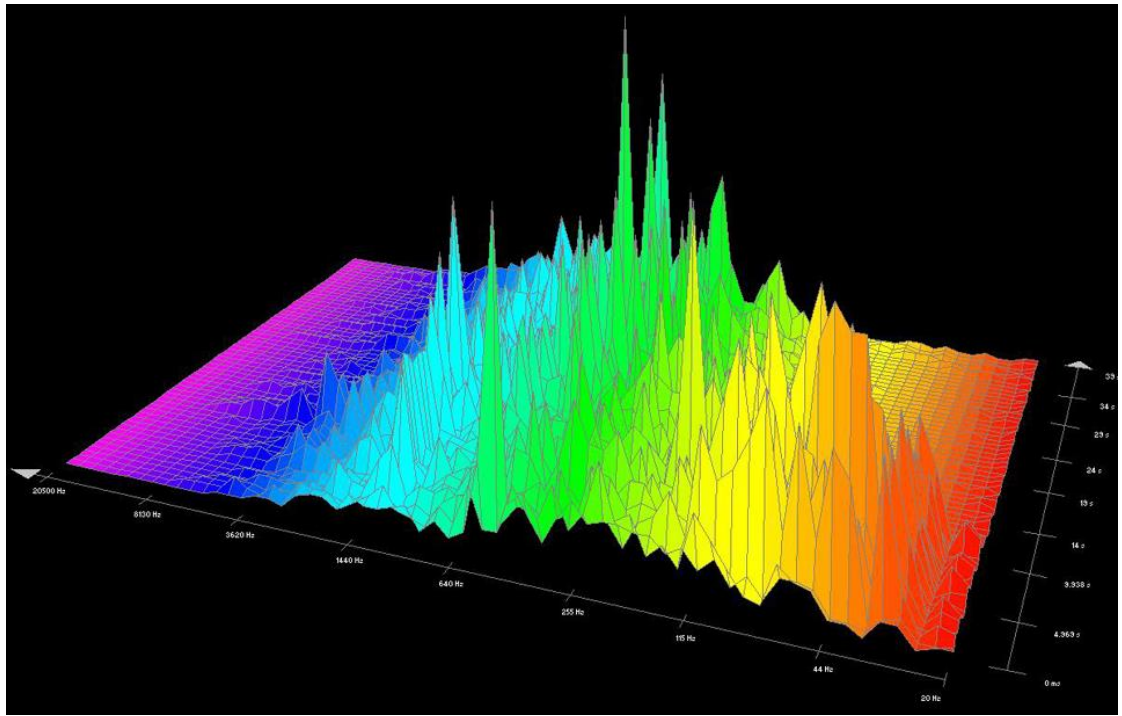
Sonogrammissa kuvataan äänenpainetason vaihtelua eri taajuuksilla tietyn ajan jakson aikana. Sen avulla voidaan tarkastella äänenpaineen muutosta ennalta määritetyn ajan jakson ajan. Sonogrammeja on kahdenlaisia, vaikealukuisempia mustavalkoisia ja helpompia värillisiä. Kuvassa 6 esitetty sonogrammi värillisenä.



KUVA 6. Äänen sonogrammi

3.4.4 Kolmiulotteinen esitystapa

Kolmiulotteisessa esityksessä kuvataan äänenpaineen muutosta eri taajuuksilla tietyn ajan jakson aikana. Kolmiulotteisessa esityksessä on periaattessa yhdistetty spektri ja sonogrammi. Kuvassa 7 esitettynä kolmiulotteinen esitystapa.



KUVA 7. Äänen kolmiulotteinen esitystapa

4 ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄ

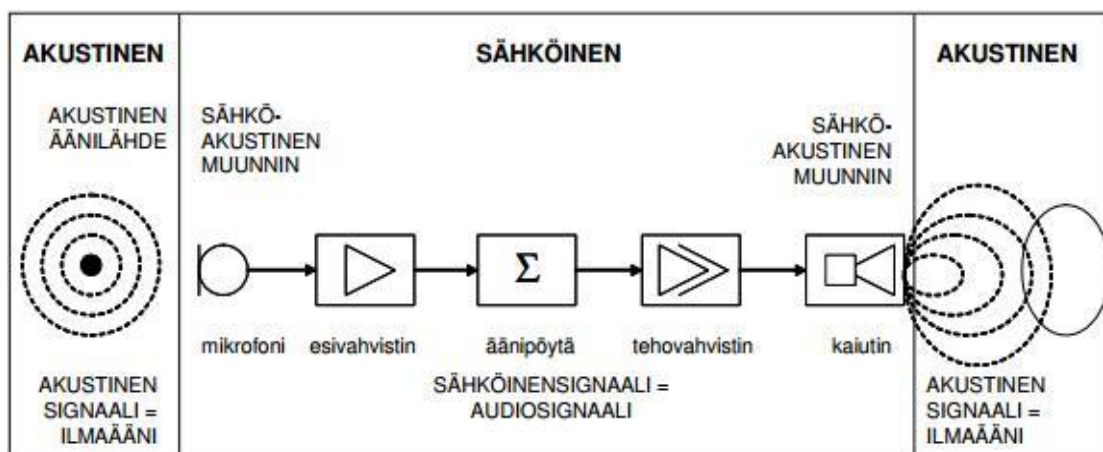
Äänentoistojärjestelmän tärkein tehtävä on siirtää haluttu viesti tai ääniohjelma kuulijalle. Äänentoistojärjestelmiä on ominaisuuksiltaan ja suorituskyvyltään useita erilaisia riippuen niiden käyttötarkoituksesta. Kaikilla järjestelmillä on kuitenkin pääpiirteittäin sama toimintaperiaate.

4.1 Yleisäänentoistojärjestelmä

Yleisäänentoistojärjestelmiä (Public address) eli vanhanaikaisesti keskusradiojärjestelmiä käytetään julkisissa tiloissa ääniohjelmien ja kuulutusten välittämiseen. Yleisäänentoistojärjestelmä voi olla luonteeltaan taustamusiikkijärjestelmä, kuulutusjärjestelmä tai norminmukainen äänihälytysjärjestelmä (voice evacuation). Useimmiten kuitenkin kyseessä on taustamusiikin ja kuulutusten yhdistäminen samaan järjestelmään, jolloin jo suunnittelussa tulee ottaa huomioon eri käyttötarkoitusten asettamat, joskus ristiriitaisetkin vaatimukset laitteiston laadulle ja suorituskyvylle. [4, s. 25.]

4.2 Äänentoistojärjestelmän toimintaperiaate

Kuvassa 8 on esitetty, miten ääni siirtyy joko akustisesti väliaineessa tai sähköisesti kaapeleissa ja elektroniikkapiireissä. Jos ääntä halutaan sähköisesti vahvistaa, se on ensin muutettava sähköiseen muotoon mikrofonilla, otettava lisäenergia esimerkiksi sähköverkosta ja muutettava sähköinen signaali takaisin akustiseksi ääneksi kaiuttimella. On muistettava, että muuttaessa signaalia olomuodosta toiseen joko mikrofonilla tai kaiuttimella ollaan tekemisissä äänentoistoketjun heikoimpien lenkkien kanssa. [4, s. 26.]



KUVA 8. Äänensiirtoketju [1, s. 9]

4.3 Äänen laatu

Viime vuosisadalta alkanut huima kehitys äänentoistolaitteiden saralla on myös nostanut kuulevan yleisön vaatimuksia äänen laadun suhteen. Jokainen tavallinen ihminen on tottunut jo kotonaan kuuntelemaan varsin laadukasta ääntä omien kotistereoiden tai korvakuulokkeiden kautta. Tästä syystä oletetaan, että julkisissa tiloissa, konserteissa ja yleisötapauhtumissa kuultava äänentoisto olisi laadultaan samaa luokkaa, jopa parempaa. Suuriin tiloihin ja suurille yleisömäärille suunnattu äänentoisto hyvällä äänenlaadulla vaatii kuitenkin laitteistolta erinomaista laatua ja suorituskykyä. Myös kuuntelutilan akustiikan merkitys on keskeinen tekijä äänen laadun suhteen.

Nykyiset äänen sähköiset tallennus- ja siirtoketjut vahvistamiseen ovat hyvin vähähäiriöisiä tai digitaalisesti toteutettuina lähes häiriöttömiä, mutta analogisesti toimivat mikrofonit ja varsinkin sen hintaluokan kaiuttimet, joita yleisäänentoistojärjestelmissä käytetään, muokkaavat ja värittävät ääntä hyvinkin

voimakkaasti. Tämä yhdessä huonetilojen puutteellisen akustiikan kanssa tuottaa usein vaikeuksia varsinkin puheviestin riittävän ymmärrettävyyden saavuttamisessa . Puheen ymmärrettävyys kuitenkin on yksi yleisäänentoistojärjestelmän tärkeimpiä vaatimuksia, hälytyskäytössä se on jopa normitettu, eli ymmärrettävyydelle on määritelty tietyt vähimmäisvaatimukset.

Yleisäänentoistojärjestelmän suunnittelussa laitteiston laatukriteerit tulisikin entistä voimakkaammin kohdistaa kaiutinverkon ja tilojen akustiikan suuntaan. Elektroniikan osalta ei ammattikäyttöön tarkoitettujen laitteiden osalta äänen laatuun liittyviä ongelmia juurikaan ilmene. Äänentoistojärjestelmän laatu riippuu paitsi em. laitteista myös inhimillisestä tekijästä. Paraskin äänentoistojärjestelmä seisoo tai kaatuu sen mukaan, osaako sitä kukaan käyttää. [4, s. 26.]

4.4 Akustinen kierto

Akustinen kierto on äänentoistossa esiintyvä kiusallinen ilmiö. Akustinen kierto syntyy, kun mikrofoni poimii kaiuttimesta tulevan äänen, joka kulkeutuu vahvistimen kautta takaisin kaiuttimeen ja sieltä taas edelleen mikrofoniin ja sama kiertoilmiö toistuu useita kertoja. Näin tapahtuessa koko järjestelmä alkaa värähdellä ja lopputuloksena on kaiuttimesta kuultava erittäin voimakas korvia vihlova vinkuna tai humina.

Vaikka äänentoistossa käytettävät laitteet ovat kehittyneet huimasti parin viime vuosikymmenen aikana, akustisesta kiertoilmiöstä ei ole päästy kokonaan eroon. Yleensä kuitenkin laadukkaimmat ja kalleimmat laitteet ovat hyvin vastustuskykyisiä akustiselle kierrolle verrattuna halvempiin ja huonolaatuisiin laitteisiin. Laitteiston laadun kannalta vaikuttavimmat tekijät ovat tässäkin äänentoistoketjun heikoimmat lenkit: mikrofonit ja kaiuttimet.

4.5 Akustisen kierron ehkäisy

Vaikka käytössä olisi laadukkaat kaiuttimet ja mikrofonit akustinen kierto voi olla mahdollinen. On kuitenkin olemassa tiettyjä menetelmiä ja laitteita, joiden avulla voidaan ehkäistä kierto-ongelma.

4.5.1 Kaiuttimen sijoittelu ja suuntaus

Kaiuttimen tärkein tehtävä on välittää haluttu ääni kuulijalle, joten sijoittelussa ja suuntauksessa tärkein tekijä on saada ääni kuuluviin siellä, missä kuulijat ovat, eikä siellä, missä esiintyjät ja heidän mikrofoninsa ovat. Mitä tarkemmalle alueelle kaiutin saadaan suunnattua, sitä vastustuskykyisempi se on akustiselle kierrolle. Eli käytännössä mitä vähemmän ääni vuotaa seinille, kattoon, esiintymislavalle tai puhujan korokkeelle, sitä parempi lopputulos akustisen kierron kannalta.

4.5.2 Mikrofonien sijoittelu ja suuntakuvi

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mikrofonin tulisi aina olla sitä toistavan kaiuttimen takana ja mahdollisimman kaukana siitä. Näin ollen mikrofonin on vaikea poimia kaiuttimesta tulevaa ääntä. Mikrofonin suuntakuviolla on myös suuri merkitys akustisen kierron kannalta. Kaikissa mikrofoneissa esiintyy ns. vuotoa, jolla tarkoitetaan mikrofonin poimimaa taustamelua. Suuntaavammat mikrofonit ovat kelpo valinta kierron ehkäisemiseksi vähäisemmän vuodon vuoksi.

4.5.3 Lähimikitys

Mitä lähemmäksi mikrofoni saadaan äänilähdettä, sitä vähemmän sitä yleensä tarvitsee vahvistaa. Tällöin vahvistetaan vähemmän myös kaiuttimesta vuotavaa ääntä, joten kierto-ongelmat ovat vähäisempiä.

4.5.4 Taajuusvasteen muokkaus eli ekvalisointi

Sekä mikronin että kaiuttimen taajuusvaste on harvoin suora. Yleensä tiettyjä taajuuksia on korostettu paremman äänen takaamiseksi. Monesti myös tilan akustiikka saattaa korottaa jotain tiettyä taajuutta. Nämä taajuuksien korotukset voivat monesti aiheuttaa akustisen kierron. Taajuuskorjain on laite, jolla voidaan ehkäistä näiden taajuuksien korostumista.

4.5.5 Kierronestolaitteet

Kierronestolaite tai kierronpoistin on laite, joka toimii samalla periaatteella kuin taajuuskorjain, mutta automaattisesti. Akustisessa kierrossa yleensä jokin tietty taajuus on ongelmallinen. Kokemattomammalle käyttäjälle tämän taajuuden etsiminen voi olla hankalaa ja aikaa vievää, varsinkin kesken esityksen tai puheen, jolloin pitäisi toimia nopeasti. Kierronestolaite etsii kiertävän taajuuden automaattisesti ja rajoittaa tämän taajuuden toistoa, näin ollen kierto-ongelmasta päästään eroon. Kaikki tämä tapahtuu varsin nopeasti. Yleensä puhutaan sekunneista. Tulisi kuitenkin muistaa, että kierronestolaite ei ymmärrä kuullun äänen laadun merkitystä, joten se saattaa muokata toistettavaa ääntä erittäinkin voimakkaasti, jolloin äänen selkeys ja ymmärrettävyys vähenee. Kierronestolaitetta tulisikin siksi käyttää lähinnä hätävarana esityksen tai puheen aikana, jos kierto-ilmiö tapahtuu yllättäen.

4.5.6 Vaiheenkääntö ja viivästäminen

Useita mikrofoneja käytettäessä yksi mikrofoni saattaa olla erittäin kiertoherkkä, vaikka muut ovat stabiileja. Tällöin kyse on yleensä erittäin monimutkaisesta ketjureaktiosta, jossa eri mikrofoniin ja kaiuttimen vuodot, viiveet ja vaihe-erot aiheuttavat kierto-ongelman. Kiertoherkän mikrofoniin signaalin vaiheen kääntäminen saattaa olla ratkaisu ongelmaan. Myös kiertoherkän mikrofoniin signaalia hieman viivästämillä voidaan lopputuloksena saada hyvinkin stabiili mikrofoni kierron kannalta.

4.5.7 Mikrofonin vahvistuksen pienentäminen

Käytännössä mikrofonin vahvistuksen pienentäminen tarkoittaa, että laitetaan kyseistä mikrofonin äänenvoimakkuutta pienemmälle. Tämä on nopein ja helpoin tapa saada kierto poistumaan, mutta koska myös kyseisen mikrofonin toistaman äänen äänenpaine laskee, se muuttaa vaan ongelman luonnetta. Esityksen tai puheen ollessa käynnissä tätä tulisikin käyttää vain ensihätäratkaisuna ja sen jälkeen yrittää ratkaista ongelma edellä mainittujen menetelmien ja laitteiden avulla.

5 ÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄN OSAT

Äänentoistojärjestelmän rakenne voi olla yksinkertaisimmillaan ohjelmalähde, vahvistin ja kaiutin. Tällainen äänentoistojärjestelmä löytyy lähes jokaisen ihmisen kotoa esim. televisioista tai pöytäradiosta.

Suuriin tiloihin ja suurille kuulijamäärille suunnatut äänentoistojärjestelmät sisältävät kuitenkin paljon enemmän laitteita. Näiden laitteiden avulla äänentoistojärjestelmästä saadaan monikäyttöisempi ja suorituskykyisempi, joten järjestelmästä saadaan maksimaalinen hyöty irti.

5.1 Ohjelmalähteet

Äänentoistojärjestelmän ohjelmalähteisiin luetellaan kaikki ne osat ja laitteet, jotka lähettävät ääntä jänniteviestiksi muunnettuna. Yleisäänentoistojärjestelmässä tällaisia ovat langalliset ja langattomat mikrofonit, toistimet sekä erilaiset laitteet, jotka lähettävät ennalta nauhoitettuja tiedotteita. Esimerkiksi mainostallentimet lähettävät mainoksia ja kaupallisia tiedotteita, sekä äänihälytysjärjestelmät lähettävät hätäviestejä ja toimintaohjeita hätätilanteen sattuessa.

5.2 Mikrofonit

Mikrofoni muuttaa ilmanpaineen muutokset jännitteen muutoksiksi. Mikrofonin sisällä on ohut kalvo tai vastaava, joka reagoi ilman värähtelyihin muuttaen ne sähköiseen muotoon. Tapa, jolla tämä muutos saadaan aikaan, erottaa eri mikrofonityypit toisistaan. [2, s. 13.]

Mikrofoneja voidaan jaotella hyvin eri perusteilla. Kun puhutaan "laulumikeistä", "headsetmikeistä" tai "haastattelumikrofoneista", mikrofoneja luokitellaan niiden käyttötarkoituksen mukaan. Käyttötarkoituksia on kuitenkin lähes rajattomasti. Tällainen mikrofoni luokittelukin on kaikkea muuta kuin tyhjentävä. [5.]

Täsmällisimmin mikrofoneja voidaan luokitella niiden sähköisen toimintaperiaatteen ja suuntakuvion mukaan, kuten taulukossa 3 on esitetty.

TAULUKKO 3 Mikrofonien luokittelu

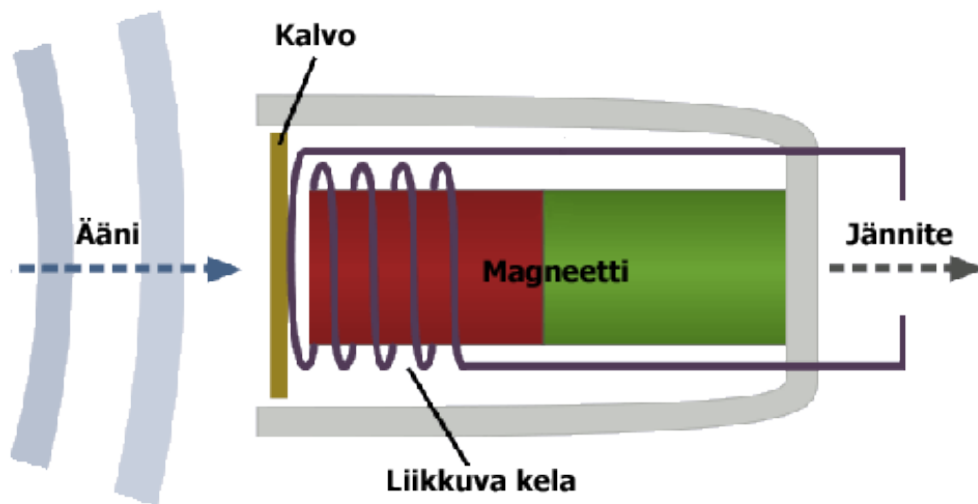
Sähköisen toimintaperiaatteen mukaan:	<ul style="list-style-type: none">• Dynaamiset mikrofonit• Kondensaattorimikrofonit• Elektreettikondensaattorimikrofonit• Nauhamikrofonit
Suuntakuvion mukaan:	<ul style="list-style-type: none">• Pallo (omni, undirectional)• Hertta / kardioidi (cardioid)• Superhertta/Superkardioidi (supercardioid)• Hyperhertta/Hyperkardioidi (hypercardioid)• Kahdeksikko (figure 8)• Keila / "haukko" (directional / shotgun)
Sisäisen akustisen rakenteen mukaan:	<ul style="list-style-type: none">• Painemikrofoni• Painegradienttimikrofoni• Painevyöhykemikrofoni (PZM)

5.2.1 Mikrofonien sähköiset toimintaperiaatteet

Mikrofonit voidaan jakaa kolmeen eri osaan sähköisen toimintaperiaatteen mukaan. Käytetyimmät näistä ovat dynaaminen sekä kondensaattorimikrofoni. Nauhamikrofoni on pitkälti toimintaperiaatteeltaan sama kuin dynaaminen mikrofoni, kun taas elektreettikondensaattorimikrofoni on oikeastaan kondensaattorimikrofonin erikoistyyppi ja täten toimii pitkälti samalla periaatteella.

Dynaaminen mikrofoni

Dynaamisessa mikrofonissa on voimakas magneetti ja pieni kela, joka on kiinnitetty mikrofonin kalvoon. Kun ääniaallot osuvat kalvoon, kalvo liikkuu edestakaisin ääniaaltojen tahdissa. Samalla se liikuttaa kela voimakkaassa magneettikentässä. Fysiikan lakien mukaan tässä tilanteessa kelan päihin indusoituu (syntyy) jännitteen vaihtelua, joka vastaa ääniaaltojen vaihtelua. Kuvassa 9 on esitetty dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate. [5.]



KUVA 9. Dynaamisen mikrofoniin toimintaperiaate [6]

Dynaamisen mikrofoniin äänentoistokykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat kalvon ja kelan paino: mitä painavampia ne ovat, sitä voimakkaampi äänilähteen on oltava saadakseen ne värähtelemään ja sitä heikommin ne toistavat korkeita taajuuksia ja transientteja (äänen alukkeita eli iskuääniä). Vaikutusta on myös elastisuudella, kelan kierrosmäärällä ja magneettikentän voimakkuudella. Nämä määräävät tietyllä äänen voimakkuudella saatavan jännitetason, eli mikrofoniin herkkyyden. [2, s. 15.]

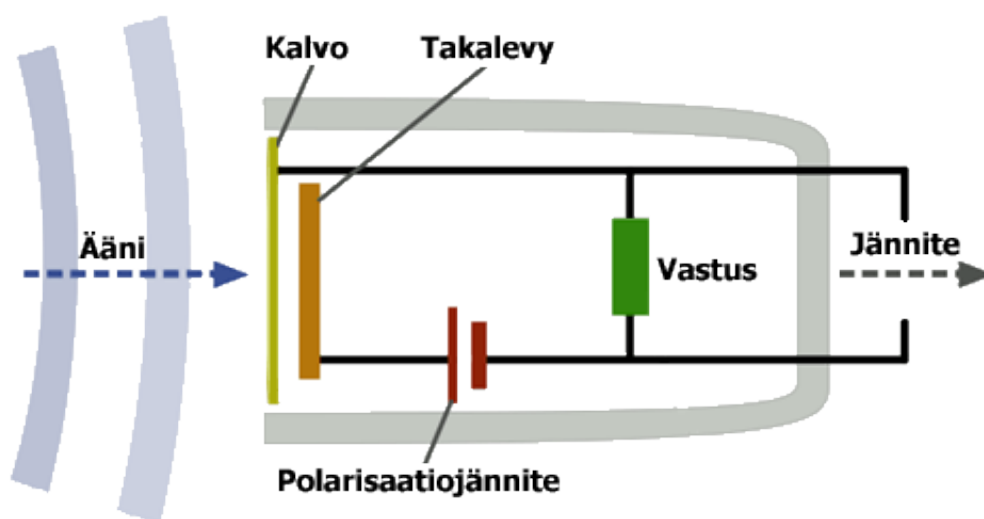
Yksinkertaisen perusrakenteensa ansiosta dynaamisesta mikrofoniin on kehittynyt erittäin vahva, kovaa käsittelyä ja vaihtelevia käyttöolosuhteita hyvin sietävä mikrofoni tyyppi. Sen äänenpaineensietokyky on tyypillisesti niin suuri (yli 130 dB), että valmistajatkin jättävät sen tarpeettomana ilmoittamatta. Runkoäänien vaimennus on hyvissä dynaamisissa mikrofoneissa erittäin hyvä.

Kaikki edellä mainitut ominaisuudet on saatu toteutetuksi kohtuullisen pienin kustannuksin, joten on selvää, että dynaaminen mikrofoni on oikeutetusti säilyttänyt asemansa. Yleiskäyttöisyytensä lisäksi se on erittäin suositeltava kovaan lavakäyttöön sekä voimakasäänisille instrumenteille, kuten puhaltimille ja rummuille. [4, s. 52.]

Dynaaminen mikrofoni on kestävä, kohtuuhintainen ja se tarjoaa kuitenkin varsin hyvän äänenlaadun. Tämän vuoksi se on erittäin yleinen mm. konserttikäytössä. Sen herkkyyden on kuitenkin heikompi kuin kondensaattorimikrofoniin, joten se ei sovellu esimerkiksi laboratorio- tai mittauskäyttöön. [6.]

Kondensaattorimikrofoni

Kondensaattorimikrofonissa on kelan ja magneetin sijasta kahden pinnan muodostama kondensaattori. Toinen pinnoista on äänivärähtelyä vastaanottava, yhdeltä puolelta metallisoitu kalvo. Kondensaattorin yli synnytetään jännite joko paristolla tai ulkopuolisella jännitesyötöllä. Ilman värähtely saa kalvon liikkumaan vuoroin lähemmäs, vuoroin kauemmas toisesta metallilevystä, mikä aiheuttaa muutoksia kondensaattorin kapasitanssissa. Tämä voidaan puolestaan muuttaa joko virta- tai jännitesignaalksi. Kuvassa 10 on esitetty kondensaattorimikrofonin toimintaperiaate.



KUVA 10. Kondensaattorimikrofonin toimintaperiaate [6]

Kondensaattorimikrofonin sisällä on yleensä myös esivahvistin, joka tarvitsee ulkopuolisen jännitteen. Mikrofonin jännite tulee joko suoraan äänilaitteen mikrofoniiliitännästä tai erillisestä verkko- tai paristokäyttöisestä virtalähteestä. Yleisin jännitesyöttöstandardi on 48 V:n phantom- eli keinojohtosyöttö. [4, s. 54.]

Kondensaattorimikrofonien tasonsietokyky riippuu monesti niiden esivahvistimesta. Monissa kondensaattorimikrofoneissa on vaimennin, jolla voidaan pienentää esivahvistimelle vietävää signaalia yliohjauksen välttämiseksi. Kondensaattorimikrofonin äänentoistokykyyn vaikuttaa myös kalvon paino: ollakseen herkkä ylätaajuuksille ja transienteille sen on oltava kevyt. Tämä on helppo toteuttaa kondensaattorimikrofonissa, koska kalvoon ei ole kiinnitetty painavaa kela (toisin kuin dynaamisessa mikrofoniissa). [2, s. 16.]

Kondensaattorimikrofoni on herkkä ja vähäkohinainen sekä äänellisiltä ominaisuuksiltaan erittäin korkealuokkainen mikrofonityyppi. [4, s. 55.]

Kondensaattorimikrofonin suurin etu on ehdottomasti äänen laatu sekä kyky toistaa hyvän herkkyytensä vuoksi myös hiljaisia ääniä. Haittapuolina jonkin verran kalliimpi hinta ja heikompi kestävyys, minkä vuoksi se soveltuu huonosti esimerkiksi konsertti- tai ulkokäyttöön. [6.]

Nauhamikrofoni

Nauhamikrofonit (ribbon microphone) ovat periaatteessa erikoisella tavalla toteutettuja dynaamisia mikrofoneja. Nauhamikrofonissa kalvona toimii voimakkaaseen magneettikenttään ripustettu ohut metallinauha, jonka päihin jännite muodostuu. Nauhan impedanssi ja muodostuva jännite ovat hyvin pieniä, mistä syystä rakenteeseen liittyy yleensä muuntaja. Ominaisuuksiltaan ja käytöltään nauhamikrofonit sijoittuvat dynaamisten- ja kondensaattorimikrofonien välimaastoon. [1, s. 36.]

Nauhamikrofonin äänentoistokykyyn vaikuttavat pitkälti samat asiat kuin dynaamisissa mikrofoneissa, eli nauhan paino ja magneettikentän voimakkuus. [2, s. 16]

Elektreettimikrofoni

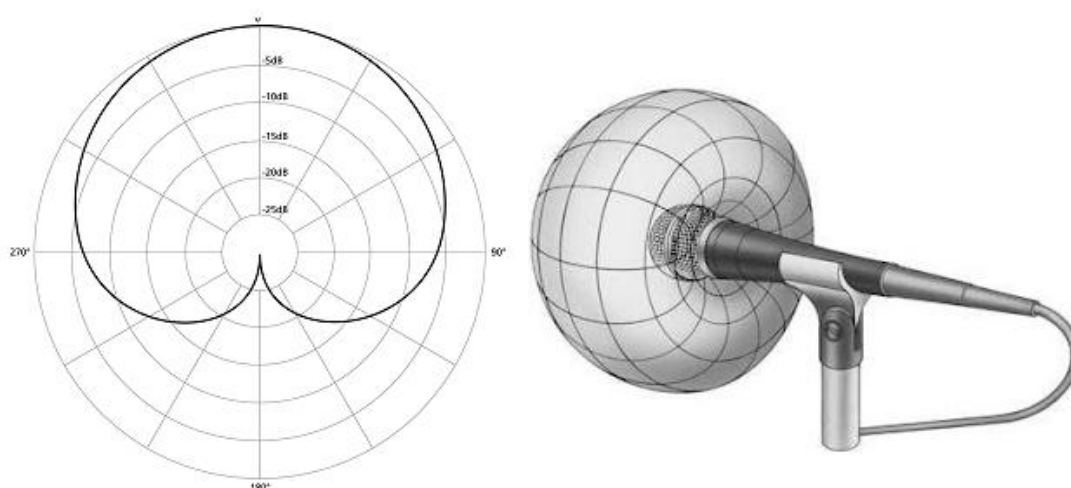
Elektreettimikrofoni (elektret condenser microphone) on kondensaattorimikrofonin erityistyyppi, joka toimii samalla periaatteella, mutta siinä ei käytetä erillistä polarisaatiojännitettä vaan mikrofonin kalvo on varattu pysyvästi (varaus ei varsinaisesti ole pysyvä, mutta kestää jopa kymmeniä vuosia). Mikrofonin esivahvistimen tarvitsema jännite saadaan sisäänrakennetulla paristolla. Elektreettimikrofonit ovat kooltaan pieniä ja varsin halpoja valmistaa. Ne tarjoavat silti kohtuullisen hyvän äänenlaadun, ja niitä käytetään mm. kuulokojeissa sekä puhelimissa. [6.]

5.2.2 Mikrofonien suuntakuviot

Mikrofonin suuntakuviolla tarkoitetaan sen herkkyyttä poimia ääniä eri ilmansuunnista eri taajuuksilla. Useasti puhutaan myös mikrofonien suuntaavuudesta. Mikrofonin suuntaavuus on tärkeä ominaisuus valittaessa sopivaa mikrofonia eri käyttötarkoituksiin ja -tilanteisiin. Saliäänentoistojärjestelmissä ovat suuntaavat mikrofonit käyttökelpoisia, sillä suuntaavuuden avulla voidaan vaimentaa ei-toivottua ympäristömelua. Suuntaavuudella on myös ratkaiseva merkitys akustista kiertoilmiötä vastaan. [4, s. 47.]

Suuntakuvion havainnollistaminen

Mikrofonin suuntaavuutta voidaan havainnollistaa suuntakuviopiirroksen (engl. polar pattern) avulla. Suuntakuvio saadaan, kun mikrofoni sijoitetaan kaiuttomaan huoneeseen, jossa sen läheisyydessä olevasta kaiuttimesta syötetään määrätyn taajuisia signaaleja vakiovoimakkuudella. Suoraan edestä (0 astetta) mikrofonin poimiman signaalin taso merkitään referenssitasoksi 0 dB. Tämän jälkeen mikrofonia pyöritetään akselinsa ympäri 360 astetta (äänilähteen pysyessä paikallaan) ja mikrofonin eri kulmista poimimat signaalitason muutokset piirretään diagrammina vastaavasti pyörivän piirturin avulla. Kuvassa 11 on esitetty herttamikrofonin suuntakuviopiirros ja 3d-mallinnus suuntakuviosta. [4.]



KUVA 11. Herttamikrofonin suuntakuviopiirros ja 3d-mallinnus [9]

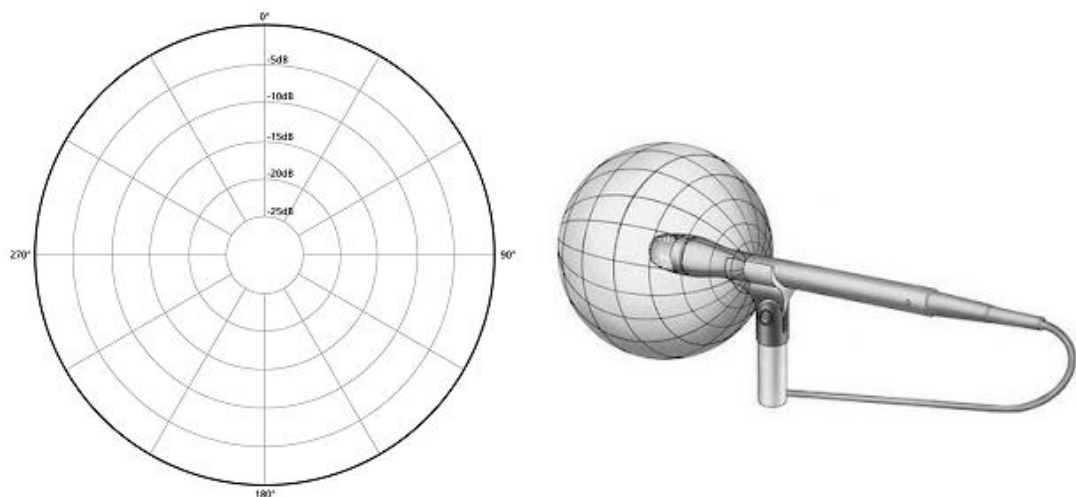
Suuntakuviopiirros on jossain määrin harhaanjohtava. Piirroksessa oleva suuntakuvion viiva ilmoittaa, milloin mikrofonin herkkyys aistia ääniä putoaa 25 dB eikä milloin

herkkyys poimia ääniä poistuu kokonaan. Todellisuudessa kaikki mikrofonit poimivat ääniä myös takaapäin, toiset voimakkaammin, toiset heikommin. Lisäksi monissa suuntakuviopiirroksissa on vain yksi suuntakuvion viiva, jolloin mittaus on tehty vain yhdellä taajuudella, yleensä 1 kHz:n taajuudella. Korkeammilla taajuuksilla suuntakuvio kapenee ja matalimmilla levenee. Paremmissa piirroksissa on ilmoitettu suuntakuvio monella eri taajuudella.

Mikrofoneilla on olemassa kaksi perussuuntakuviota, pallo ja kahdeksikko. Näiden kahden yhdistelmästä saadaan syntymään muut tärkeimmät suuntakuviot: kardioidi (hertta), superkardioidi, hyperkardioidi ja keila sekä näiden välimuodot. [4, s. 46.]

Pallo

Pallosuuntakuviainen (engl. *omnidirectional*) mikrofoni on yhtä herkkä kaikille äänille riippumatta niiden tulosuunnasta. Tällaisen mikrofonin suuntaherkkyyttä ei siis ole muokattu mekaanisesti tai sähköisesti. Näiden mikrofonien äänenväriä kuvaillaan usein luonnolliseksi, avoimeksi, ja vääristymättömäksi. Niillä on laaja taajuusvaste, ja ne ovat erittäin hyviä taltioitaessa ambienssia tai suuria äänilähteitä. Usein pallomikrofonit ovat toimintaperiaatteeltaan kondensaattori- tai elektreettimikrofoneja, joskin muutamia dynaamisiakin pallomikrofoneja on tehty lähinnä reportterikäyttöön. Kuvassa 12 on esitetty pallomikrofonin suuntakuviopiirros.



KUVA 12. Pallomikrofonin suuntakuviopiirros ja 3d-mallinnus [9]

Pallomikrofonin huonoja puolia ovat vuotamiseen liittyvät ongelmat. Koska pallokuvio kerää ääniä tasaisesti joka suunnasta, yksittäisen äänilähteen poimiminen

voi olla ongelma jos ympärillä on muita melua aiheuttavia äänilähteitä, esim. soittimia. Myös huoneakustiikka välittyy herkästi pallokuvioiseen mikrofoniin, ja tällöin mikrofonin poimima ääni voi kuulostaa epäselvältä, jopa vaihevirheiseltä. Pallokuvioinen mikrofoni on myös herkkä akustiselle kierrolle.

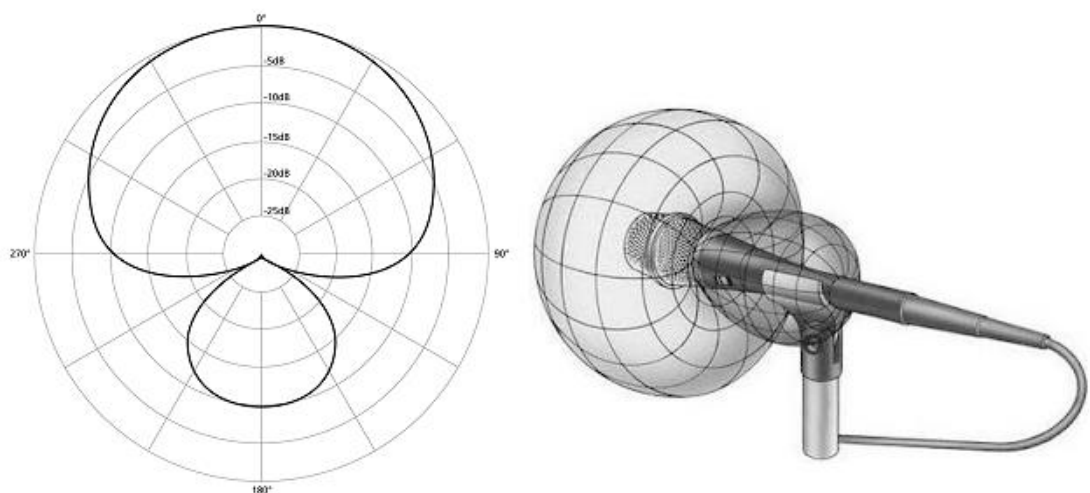
Hertta

Hertta eli kardioidi (*engl. cardioid, unidirectional*) on yleisin suuntakuvio, ja suurin osa dynaamisista mikrofoneista on suuntakuvioltaan herttoja. Hertta sieppaa ääniä parhaiten suoraan mikrofonin edestä (0° -akseli) ja vaimentaa tehokkaimmin suoraan mikrofonin takaa (180°) saapuvia ääniä, kuten kuvassa 11 on esitetty.

Herttamikrofoni on käytettävyydeltään perusvarma valinta. Se on mikrofonien suuntakuvioiden ”joka paikan höylä”. Sillä pystyy taltioimaan lähes kaiken edes välttävästi. Vuoto on vähäistä verrattuna pallokuvioon, ja akustisen kierron kanssa se on yksi stabiileimmista suuntakuvioista. Huonoina puolina mainittakoon herttamikrofonin kyky poimia ääniä kaukaa, joten mikrofonin joutuu asettamaan hyvinkin lähelle haluttua äänilähdettä.

Superhertta ja hyperhertta

Super- ja hyperhertta ovat herttakuviosta jalostettuja kapeampia suuntakuvioita. Mitä kapeampi suuntakuvio kuitenkin on, sitä enemmän se vuotaa myös taaksepäin. Kuvassa 13 on esitetty superherttamikrofonin suuntakuviopiirros ja 3d-mallinnus.

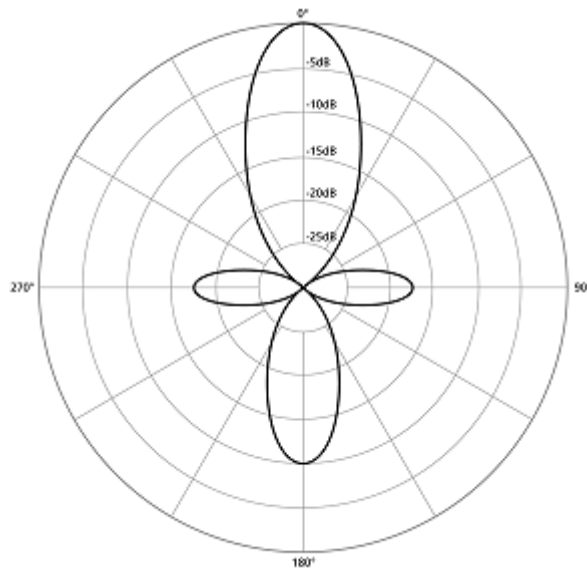


KUVA 13. Superherttamikrofonin suuntakuviopiirros ja 3d-mallinnus [9]

Mitä kapeampi suuntakuvio on, sitä enemmän se kerää vuotoja sivulta, mikä voi olla monessa tilanteessa ratkaiseva asia poimitun äänen laatuun. Lisäksi kapeammalla suuntakuviolla saadaan poimittua haluttu ääni kauempaa, jos mikrofonia ei voida sijoittaa äänilähteen välittömään läheisyyteen. Toisaalta kapeampi suuntakuvio vaatii tarkempaa suuntausta, ja taaksepäin johtuvan vuodon takia on myös monesti herkkä akustiselle kierrolle.

Keila/haulikko

Kuvassa 14 esitetty keilakuvio on kaikista kapein suuntakuvio. Sen suurimpana etuna on, että mikrofoni voidaan asettaa hyvinkin kauas äänilähteestä ja siltikin voidaan poimia haluttu ääni hyvinkin korkealaatuisena.



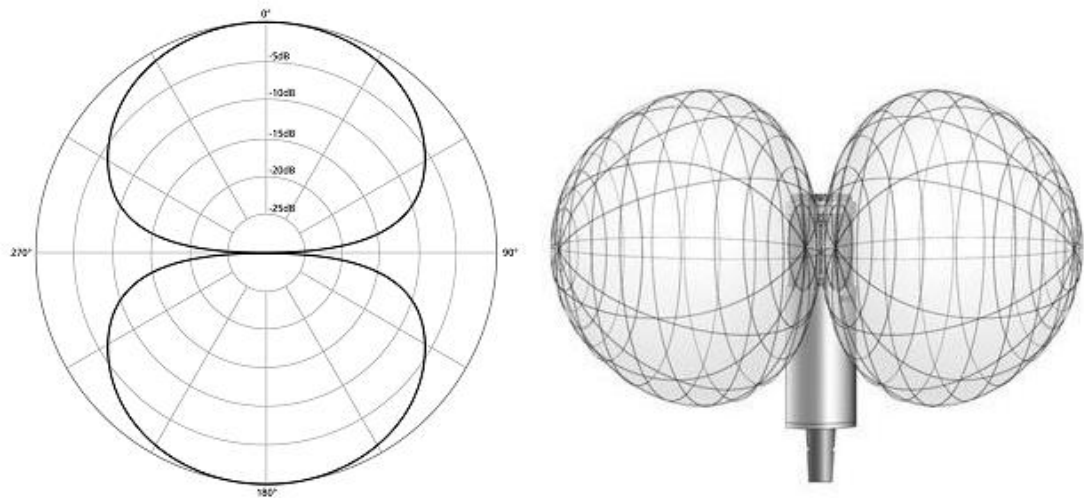
KUVA 14. Haulikkomikrofonin suuntakuviopiirros [6]

Keilamikrofonin huono puoli on sen erittäin tarkka suuntaus. Tämä voi olla erityisen huono asia, jos poimittava äänilähde on liikkuva. Lisäksi keilamikrofoni on monesti herkkä akustiselle kierrolle.

Kahdeksikko

Kahdeksikko on nykyään vähemmän live-käytössä käytetty mikrofoni. Yleisesti ottaen kaikki nauhamikrofonit ovat suuntakuvioltaan kahdeksikkoja. Kahdeksikko on monesti hyvä mikrofoni, jos halutaan taltioda ambienssia (ns.tilääntä).

Kahdeksikkoa käytetään lähinnä äänityskäytössä. Kuvassa 15 on esitetty kahdeksikkomikrofonin suuntakuvio ja 3d-mallinnus.



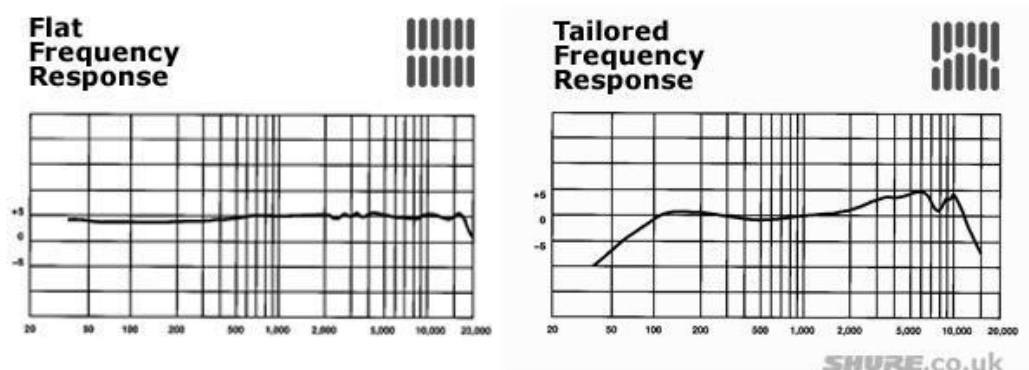
KUVA 15. Kahdeksikkomikrofonin suuntakuviopiirros ja 3d-mallinnus [9]

5.2.3 Mikrofonien muut sähköiset ominaisuudet

Tärkeimmät tekijät mikrofonia valittaessa ovat sähköinen toimintaperiaate ja suuntakuvio. On myös olemassa muutama muu tärkeä sähköinen ominaisuus, jonka avulla voimme valita oikean mikrofonin haluttuun käyttötarkoitukseen.

Taajuusvaste

Mikrofonien taajuusvaste ilmaisee, kuinka herkästi mikrofoni poimii eri taajuudet suhteessa toisiinsa. Hyvä taajuusvaste on taajuusalueeltaan 20–20000 Hz, eli käytännössä ihmisen kuuloalue. Taajuusvasteen muoto voi olla joko mahdollisimman suora tai kustomoitu käyttötarkoituksen mukaan. Kuvassa 16 on esitetty suora ja kustomoitu taajuusvaste.



KUVA 16. Mikrofonin suora ja kustomoitu taajuusvaste [9]

Monet valmistajat korostavat mikrofonien korkeita taajuuksia äänen kirkkauden parantamiseksi sekä vaimentavat matalia taajuuksia erottelevuuden parantamiseksi. Tämä on monesti hyväkin ratkaisu, mutta saattaa myös huonontaa mikrofonin monikäyttöisyyttä sekä aiheuttaa ongelmia akustisen kierron suhteen.

Herkkyys

Herkkyys on mikrofonin antojännite tietyllä äänenpaineella. Herkkyydellä tarkoitetaan mikrofonin kykyä poimia hiljaisempiakin ääniä. Mitä herkempi mikrofoni on, sitä pienempi on riski, että kohina aiheuttaa ongelmia. Puuttuvaa herkkyyttä voidaan aina korjata käyttämällä suurempaa sähköistä vahvistusta. Koska samalla vahvistetaan myös kohinaa, tarvitaan hyvää herkkyyttä kohinan pienentämiseen. Lisäksi on syytä muistaa, että herkemmän mikrofonin signaali säröytyy helpommin voimakkaiden äänilähteiden yhteydessä käytettäessä. [4, s. 63.]

Impedanssi

Impedanssi on mikrofonin sisäinen vaihtovirtavastus, joka yleensä ilmoitetaan 1 kHz:n taajuudella mitattuna. Mittayksikkö on ohmi (Ω). Mikrofonin impedanssi, samoin kuin käytettävän äänipöydän tai vahvistimen liitäntäimpedanssi, on tiedettävä oikean sovituksen varmistamiseksi. Äänipöytä tai vahvistin ei saisi kuormittaa mikrofonia. Siksi nyrkkisääntönä voidaan pitää, että äänipöydän/vahvistimen liitäntäimpedanssin tulisi olla n.3-5 kertaa suurempi kuin mikrofonin impedanssin. [4, s. 61.]

5.2.4 Mikrofonien tuulisuojat ja pop-filtterit

Puhallusäänet ovat suuntamikrofoneja käytettäessä esiintyvä kiusallinen ilmiö, jossa lähietäisyydeltä mikrofoniin puhuttaessa esim. P-, T-, ja K-kirjaimet aiheuttavat ylikorostunutta paukahtelua. Ilmiö on pahimmillaan n. 5 cm:n päässä mikrofonista. Siirtyminen lähemmäksi tai kauemmaksi auttaa jonkin verran. Myös puhuminen mikrofoniin hieman sivummalta vaimentaa efektiä. Paras keino yleensä on joko mikrofoniin sisäänrakennettu suodin tai ulkoinen, esim. vaahtokuminen tuulisuoja. Tuulisuojan aiheuttama diskanttien vaimeneminen on paukahteluun verrattuna yleensä pienempi paha.

5.3 Esivahvistin

Esivahvistimen eli toiselta nimeltään etuasteen tehtävä on vahvistaa ohjelmälähteestä saatu signaali sopivalle tasolle tehovahvistinta varten. Käytännössä jokainen ohjelmälähde, olipa se sitten mikrofoni tai cd-soitin, tarvitsee oman esivahvistimen. Esivahvistimia on useita erilaisia. Yleensä ne sijaitsevat äänipöydässä sisäänrakennettuina tai jossain tapauksissa käytetään myös erillisiä ulkoisia esivahvistimia.

Monet ulkoiset esivahvistimet ovat kalliita ja laadukkaita monipuolisten säätöominaisuuksien ja laadukkaiden komponenttien takia. Tästä syystä ne kuulostavat myös monesti paremmalta kuin äänipöydän omat esivahvistimet. Ulkoisia esivahvistimia käytetäänkin lähinnä studiokäytössä. Kuitenkin ammattilaitteista puhuttaessa äänipöydän sisäänrakennetut esivahvistimet ovat yleensä varsin laadukkaita ja vähäkohinaisia, joten ne ovat varsin hyviä käytettäväksi yleisäänentoistojärjestelmissä.

5.4 Äänipöytä eli mikseri

Äänipöydällä eli mikserillä on lukuisia tärkeitä tehtäviä äänentoistojärjestelmän äänensiirtoketjussa. Sen tärkein tehtävä on toimia äänisignaalin reitittäjänä ohjelmälähteiden ja päätevahvistimien välillä. Sen toinen tärkeä tehtävä on sovittaa eri ohjelmälähteiden signaalien tasot päätevahvistimille sopiviksi, sisäänrakennettujen esivahvistimien avulla. Monissa äänipöydissä esivahvistimien yhteydessä on myös taajuuskorjaimet, joiden avulla voidaan muuttaa ohjelmälähteiden äänen sävyä selkeämmäksi ja kirkkaammaksi, korjata akustiikasta johtuvia äänenvärien muutoksia tai eliminoida akustinen kierto. Äänipöytiä on useita erilaisia kapasiteetiltaan, ominaisuuksiltaan ja sähköiseltä toimintaperiaatteeltaan.

5.4.1 Äänipöydän kapasiteetti

Äänipöytää valittaessa ensimmäinen huomio tulisi kiinnittää tarvittavaan kapasiteettiin. Kapasiteetilla tarkoitetaan sisäänmenojen ja ulostulojen määrää. Sisäänmenoihin kiinnitetään kaikki ohjelmälähteet, joita käytetään, esim. mikrofonit ja cd-soittimet. Ulostuloihin taas liitetään ohjattavat päätevahvistimet. Äänipöydän

kapasiteetti määrittää pitkälti äänipöydän fyysisen koon. Pienimmillään kapasiteetti voi olla pari sisääntuloa ja yksi ulostulo. Tällöin äänipöydän fyysistä kokoa tarkasteltaessa puhutaan muutamista senteistä. Suurimmillaan kapasiteetti voi olla jopa sata sisääntuloa ja kymmeniä ulostuloja. Tällöin äänipöydät voivat olla kooltaan jopa monta metriä pitkiä ja leveitä, raskaita laitoksia.

5.4.2 Äänipöydän ominaisuudet

Toinen tärkeä huomio äänipöytää valittaessa tulisi kiinnittää äänipöydän ominaisuuksiin. Ominaisuudet voidaan jakaa oikeastaan kahteen osa-alueeseen, käytettävyyteen ja äänenmuokkauslaitteisiin. Käytettävyydeltään äänipöytiä löytyy laidasta laitaan. Monipuoliset reititysmahdollisuudet kuitenkin helpolla käsiteltävyydellä ovat tärkeitä tekijöitä.

Äänipöytien toinen tärkeä ominaisuus on äänenmuokkauslaitteet. Yleisesti ottaen lähes kaikista äänipöydistä löytyy edes jonkinlaiset ko. laitteet. Kalliimmissa pöydessä näitä laitteita on luonnollisesti enemmän ja monipuolisemmilla säätömahdollisuuksilla.

Lisäksi äänipöytiä on joko manuaalisesti ohjattavia tai automaattisesti toimivia etukäteen ohjelmoituja laitteita.

5.4.3 Äänipöydän sähköinen toimintaperiaate

Tänä päivänä äänipöydät voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan sähköisen toimintaperiaatteen mukaan, analogisiin ja digitaalisiin. Perinteisessä analogisessa äänipöydässä signaali kulkee jänniteviestinä. Digitaalisessa äänipöydässä ohjelmälähteistä saadut analogiset signaalit muutetaan digitaaliseen muotoon A/D-muuntimien avulla. Tämän jälkeen signaalien reititykset ja muokkaukset tehdään pöydän sisällä digitaalisesti, jonka jälkeen ne muutetaan takaisin analogiseksi D/A-muuntimilla ja lähetetään eteenpäin haluttuun vahvistimeen.

Digitaalisen äänipöydän suurin etu on sen monipuoliset ominaisuudet, fyysisen koon kuitenkin pysyessä pienenä. Äänenmuokkauslaitteiden määrä ja monipuolisuus suhteessa analogiseen on valtava. Tavallinen digitaalinen äänipöytä sisältää

äänenmuokkauslaitteita kymmenittäin, jotka analogisesti toteutettuna tarkoittaisi kymmenittäin erillisiä irtolaitteita ja komponentteja.

Toinen suuri etu verrattuna analogiseen on pieni kohinasuhde ja häiriönsietokyky. Mitä suuremman laitemäärän läpi äänisignaali kulkee, sitä enemmän se vaimenee, jolloin sitä joudutaan vahvistamaan enemmän sähköisesti. Signaalin sähköinen vahvistaminen taas lisää kohinaa. Digitaalisessa äänipöydässä signaalin muokkaus tapahtuu yhdessä järjestelmässä, kun taas analogisessa sama asia joudutaan tekemään monen eri laitteen kautta. Mitä vähemmän laitteita äänensiirtoketjussa on, sitä pienempi on myös teknisen vian mahdollisuus.

Vaikkakin digitaalinen äänipöytä ominaisuuksiltaan vaikuttaa ylivoimaiselta analogiseen verrattuna, on siinä myös omat huonot puolensa. Ensimmäinen hankintaan vaikuttava asia on monelle kuluttajalle hankintahinta. Digitaalinen äänipöytä on luonnollisesti kalliimpi. Suhteessa ominaisuuksien määrään hinta on kuitenkin paljon halvempi kuin vastaava laitteisto analogisesti toteutettuna.

Toinen heikkous verrattuna analogiseen on huonompi äänenlaatu jossain määrin. Koska digitaalisessa järjestelmässä analoginen äänisignaali joudutaan muuttamaan digitaalseksi ja siitä takaisin analogiseksi A/D- ja D/A-muuntimien avulla, heikentää se jonkin verran äänenlaatua. Äänenlaadun heikkenemisen määrä on kuitenkin suhteessa näiden A/D- ja D/A-muuntimien laadukkuuteen. Halvimmissa laitteista äänenlaadun heikkeneminen saattaa olla huomattava johtuen pöydässä käytettyjen komponenttien huonosta laadusta. Ammattikäyttöön tarkoitetuissa laitteissa äänenlaadun heikkenemistä ei kuitenkaan ole juuri havaittavissa.

Analogisen äänipöydän etuna verrattuna digitaaliseen voidaan vielä pitää sen helppokäyttöisyyttä. Yleensä digitaaliset äänipöydät toimivat jonkin käyttöjärjestelmän pohjalta, joten käyttäjältä vaaditaan suurempaa perehtymistä laitteen käyttöön. Analogisessa äänipöydässä kaikki toiminnot ovat fyysisillä napeilla ja liuilla, kun taas digitaalisessa monet toiminnot löytyvät itse käyttöjärjestelmästä valikkojen takaa. Tämä taas puoltaa analogisen suurempaa fyysistä kokoa verrattuna digitaaliseen.

5.5 Äänenmuokkauslaitteet

Äänenmuokkauslaitteilla on tärkeä tehtävä äänentoistojärjestelmässä. Niiden avulla pystytään parantamaan äänenlaatua, lisäämään äänijärjestelmän suorituskykyä sekä värittämään ääntä erilaisilla efekteillä. Äänenmuokkauslaitteet toimivat myös hyvinä työkaluina ongelmatilanteissa esim. akustisen kierron eliminoimiseksi. Äänenmuokkauslaitteet luokitellaan kolmeen eri ryhmään: äänen taajuussisältöön vaikuttavat laitteet, äänen voimakkuussuhteeseen eli dynamiikkaan vaikuttavat laitteet sekä äänen viivästämiseen vaikuttavat laitteet.

5.5.1 Taajuussisältöön vaikuttavat laitteet

Taajuussisältöön vaikuttavista laitteista tärkeimmät ovat taajuuskorjain ja taajuussuodin.

Taajuuskorjaimen avulla pystytään muokkaamaan toistettavan äänen taajuusvastetta. Äänilähteen tuottaman äänen sävyn parantaminen voidaan tehdä taajuuskorjaimella. Huonosta akustiikasta johtuvat äänen väritymiset, mikrofonin tai kaiuttimen taajuusvasteesta aiheutuvat äänen vääristymät sekä akustinen kierto voidaan korjata taajuuskorjaimen avulla. Taajuuskorjaimia luokiteltaessa puhutaan niiden taajuuden muokkausmahdollisuuksista eli parametreista. Mitä enemmän parametreja taajuuskorjaimessa on, sitä monipuolisemmin sillä pystytään muokkaamaan taajuusvastetta.

Taajuussuotimen tehtävä on asettaa rajataajuuksia toistettavalle äänelle. Useimmat mikrofonit poimivat kaikki taajuudet koko taajuuskaistalta 20–20 000 Hz. Eri äänilähteiden tuottamat äänet saattavat kuitenkin rajoittua esim. 100–8000 Hz:n alueelle. Taajuussuotimella voidaan asettaa mikrofonille rajataajuudet kyseisille taajuuksille ja näin ollen äänenlaatua selkeytyy sekä laitteiston suorituskyky parantuu eliminoitaessa turhat toistettavat taajuudet. Taajuussuodin on myös tärkeä työkalua erilaisten kaiuttimien toiminnan kannalta. Monissa kaiuttimissa eri elementit on jaettu toistamaan eri taajuusalueita esim. matalia taajuuksia toistaa bassoelementti eli subwoofer ja korkeita taajuuksia diskantti. Näiden elementtien rajataajuudet eli ns. jakotaajuudet toteutetaan taajuussuotimien avulla. Taajuussuotimesta puhuttaessa

käytetään usein nimitystä ali-, yli- tai keskipäästösuodin toimintaperiaatteen mukaisesti.

5.5.2 Äänenvoimakkuussuhteeseen vaikuttavat laitteet

Äänenvoimakkuussuhteeseen eli dynamiikkaan vaikuttavista laitteista tärkeimmät ovat kompressorin, limiterin ja kohinaportti eli noise gate.

Kompressorin avulla pystytään supistamaan toistettavan äänen voimakkuussuhdetta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että hiljaisemmat kohdat muutetaan voimakkaammaksi ja voimakkaammat kohdat hiljaisemmaksi. Monissa toistettavissa äänilähteissä äänenvoimakkuustasojen erot voivat olla niin voimakkaita, että se häiritsee kuulijaa. Tyypillinen esimerkki on puheen toistamisessa, missä monesti puhujan tulkinta ja huono mikrofoniin käsittelytekniikka aiheuttavat ongelman, että osa puheesta tulee todella hiljaa ja hetkittäin liian kovaa. Tällöin kompressorilla saadaan muutettua tasojen muutokset pienemmiksi, täten kuuntelukokemuksesta tulee selkeämpi ja nautinnollisempi.

Limiterin avulla pystytään määrittelemään äänisignaalin huipputaso, jota se ei voi ylittää. Limiteri toimii hyvänä suojana käytettävälle äänentoistojärjestelmälle. Äkilliset äänitasojen nousut tai viasta johtuvat signaalipiikit voivat vaurioittaa muita äänilaitteita. Oikein asetettu limiteri kuitenkin suojelee näitä laitteita näiltä ongelmilta.

Kohinaportin eli noise gaten avulla pystytään määrittelemään äänisignaalin minimivoimakkuustaso, minkä ylittyessä signaali toistetaan. Käytännössä tämä tarkoittaa eri äänilähteiden toiston olevan suljettuna, kunnes signaalin määritelty taso ylittyy. Erityisesti montaa eri mikrofonia käytettäessä tämä laite on todella hyödyllinen. Auki olevat mikrofonit, jotka eivät sillä hetkellä toista äänilähdettä vaan toistavat turhaan tilääntä eli ambienssia, saadaan vaimennettua. Tämän ansiosta äänenlaatu selkeytyy ja muuttuu helposti ymmärrettävämmäksi.

5.5.3 Viivästämiseen vaikuttavat laitteet

Äänisignaalin viivästämiseen tarkoitetuista laitteista tärkeimmät ovat viivelaite ja kaikulaite.

Viivelaitteen tärkein tehtävä on viivastaa eri äänisignaaleja äänentoistojärjestelmässä. Monissa isommissa äänijärjestelmissä on kaiuttimia useissa eri paikoissa ja tasoissa äänen kuuluvuuden saamiseksi kattavaksi. Näiden kaiuttimien väliset etäisyydet saattavat aiheuttaa ongelmia äänenlaadun suhteen, jos sama ääni toistetaan jokaisesta samaan suuntaan osoittavasta, kuitenkin eri etäisyydellä toisistaan olevasta kaiuttimesta samassa ajassa. Lähempänä kuulijaa olevaa on kaiutinta on viivästettävä, jotta sama ääni tulee kuulijalle samassa ajassa.

Kaiuttimen viivästysaika (t) lasketaan kaavan 5 mukaisesti

$$t = \frac{s}{v} + 10ms \quad (5)$$

jossa s on kaiutinten välinen etäisyys ja v on äänen nopeus eli 342m/s

Viiveaikaan lisätään 10-30ms äänen aistimussuunnan säilyttämiseksi. Tällöin kuulija tunnistaa äänen tulosuunnan hänen korviinsa ensimmäiseksi tulleen signaalin mukaan, mutta kokee äänenvoimakkuuden ja ymmärrettävyyden nousevan. [1, s. 88.]

Kaikulaitteen avulla pystytään luomaan erilaisia ääniefektejä toistettavaan ääneen. Kaikulaitteita käytetään erityisesti musiikin toistossa, joten sillä ei välttämättä ole käyttötarkoitusta puheäänentoistojärjestelmissä.

5.6 Päätevahvistin

Päätevahvistimella eli pääteasteella on tärkeä rooli äänentoistojärjestelmässä. Sen tarkoitus on syöttää tehoa kuormaan signaalin ohjaamana. Toisin sanoen se vahvistaa äänipöydästä tulevan esivahvistetun äänisignaalin ja tämän jälkeen syöttää sen kaiuttimelle.

Päätevahvistimen rakenne voidaan ajatella kahdeksi eri osaksi, jotka toimivat saumattomasti yhteen. Toinen on signaalitie, joka kulkee päätevahvistimen tuloliitännästä ohjaamaan päätetransistoreja ja sitä kautta vahvistettua äänisignaalia

kaiuttimille. Toinen on virransyöttö, joka lähtee virtalähteestä ja syöttää virtaa kaiuttimille päätetransistorien kautta tulosignaalin ohjaamana. [7.]

Tyypillisesti päätevahvistin on stereovahvistin. Tällöin vahvistimessa on periaatteessa kaksi erillistä vahvistinta, joita puhekielessä kutsutaan myös kanaviksi. Normaalisti stereovahvistimessa on kolme eri toimintamoodia, stereo, parallel ja bridge. Stereo-moodissa kaksi erillistä äänisignaalia vahvistetaan kahdeksi erilliseksi äänisignaalksi, parallel-moodissa yksi äänisignaali vahvistetaan kahdeksi erilliseksi äänisignaalksi ja bridge-moodissa vahvistinkanavat sillataan jolloin yksi äänisignaali vahvistetaan yhdeksi kaksi kertaa tehokkaammaksi äänisignaalksi.

Päätevahvistinta valittaessa tärkeä tekijä on vahvistimen antama lähtöteho kuorman impedanssiin nähden. Lähtötehon yksikkönä on useimmiten watti (W). Tämä teho mitoitetaan pitkälti käytettävien kaiuttimien tehotarpeesta, impedanssista sekä kytkentätavasta. Perussääntönä tehon suhteen kuitenkin on se, mitä enemmän äänenpainetta halutaan aikaiseksi erityisesti matalilla taajuuksilla, sitä enemmän päätevahvistimelta tarvitaan lähtötehoa. Toinen merkittävä asia vahvistinta valittaessa on sen toimintatapa. Kaikki päätevahvistimet voidaan luokitella niiden sähköisen toimintatapansa perusteella eri luokkiin. Näistä käytännön kannalta merkittäviä ovat A-, AB-, B- ja D-luokat, joista AB on ehdottomasti yleisin. [1, s. 47.]

A-luokan vahvistin

A-luokassa vahvistimen kummatkin päätetransistorit ovat koko ajan johtavassa tilassa ja niistä virtaa läpi koko ajan virtaa. Virta vaihtelee musiikkisignaalin mukaan ja osa kulkeutuu kaiutinelementeille. Loppu muuttuu lämmöksi. Tyhjäkäynnilläkin vahvistin käy kuumana, koska lepovirta on suuri. A-luokan vahvistimella saavutetaan yksinkertainen rakenne ja pieni särötaso, koska A-luokassa ei synny nollakohdan ylityksestä aiheutuvaa ylimenosäröä. Hyötysuhde taas on huono, koska vahvistin käy koko ajan käytännössä täydellä teholla ja kuumenee runsaasti. Tällainen vahvistin on rakenteeltaan järeä ja vaatii hyvin suuria jäähdytyslementtejä. A-luokan vahvistimet antavat tyypillisesti muutamasta watista pariinkymmeneen wattiin tehoa, joka riittää useimmiten jos kaiuttimet ovat herkemmat eikä suurempia äänenpaineita tarvita. Suuremmat A-luokan vahvistimet ovat harvinaisia, todella massiivisia ja kalliita. [7.]

B-luokan vahvistin

B-luokassa vahvistimen päätetransistorit toimivat parina siten, että toinen johtaa signaalin positiivisen puolijakson aikana ja toinen negatiivisen. Kun musiikkisignaalia ei ole, niin kummastakaan transistorista ei kulje virtaa läpi. Tällöin saavutetaan hyvä hyötysuhde, mutta nollasignaalin ympäristössä esiintyy ylimenosäröä, kun signaali muuttuu positiivisesta negatiiviseksi ja päinvastoin ja siirtyy toisen transistorin hoidettavaksi. Äänenlaadun kannalta edullisin toiminta-alue on vahvistimen puoliteho, jolloin särö on pienimmillään. Särön määrä riippuu transistorien ominaisuuksista, ja se kasvaa pienillä kuuntelutehoilla. B-luokan vahvistin on siis äänenlaadullisesti huono ratkaisu pienillä voimakkuuksilla. [7.]

AB-luokan vahvistin

AB-luokassa vahvistin toimii nollasignaalin ympäristössä, kuten A-luokan vahvistin, ja suuremmilla signaaleilla, kuten B-luokan vahvistin. Pääteaste toimii siis pienillä tehoilla A-luokassa ja tehon kasvaessa määrätyn tason yli muuttuu B-luokassa toimivaksi. Kuinka paljon A-luokan tehoa vahvistin antaa, riippuu päätetransistoreihin ohjatusta lepovirran määrästä. Karkeasti, mitä enemmän lepovirtaa, sitä enemmän A-luokan tehoa. AB-luokassa toimiva vahvistin on yleisin vahvistintyyppi, koska sillä saavutetaan kohtuullinen hyötysuhde ja vältetään pitkälle nollakohdan särö. Muutamatkin watit A-luokassa usein riittävät, jos kaiuttimet ovat herkät ja käytetään kohtuullisia äänenvoimakkuuksia. [7.]

D-luokan vahvistin

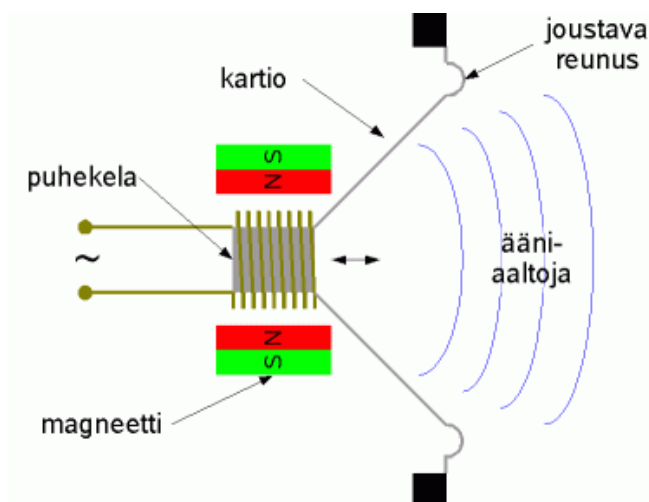
D-luokan vahvistin perustuu pulssimodulointiin. Lähtöasteen transistorit toimivat kytkiminä, jolloin lähtöaste on koko ajan joko täysin johtavassa tai täysin johtamattomassa tilassa. Lähtöaste toimii huomattavasti korkeammalla taajuudella kuin korkein vahvistimella toistettava audiosignaali. Pulssin keston ja nollasignaalin keston suhde ohjaa ulostuloa 50%:n hyöty- ja nollasignaalin suhteessa. D-luokan vahvistimella saavutetaan merkittävästi korkeampi hyötysuhde kuin B-luokassa. D-luokassa häviö rajoittuu vain pääteasteen kytkemishetkeen, vastushäviöihin ja ulostulon suodatukseen. D-luokan vahvistin edellyttää monimutkaisempaa rakennetta, laajempaa suojausta ja suodatusta. [7.]

D-luokan vahvistimia on käytetty yleensä vain sovelluksissa, joissa hyvä hyötysuhde on tärkeämpi kuin äänenlaatu sekä toistettava taajuusalue on alhainen. Sen merkittävimmät edut ovat keveys ja erittäin pieni lämmöntuotto. Kokonaisuudesta tulee huomattavan pieni ja tehokas. Aiemmin D-luokka on kärsinyt ongelmista äänenlaadussa, mutta ominaisuuksia on saatu sittemmin parannettua. [7.]

5.7 Kaiutin

Äänentoistojärjestelmän viimeinen komponentti ennen kuulijan korvaa on kaiutin. Kuten jo aiemmin todettiin, kaiutin on mikrofoniin ohella äänijärjestelmän toinen kriittisin osa äänenlaadun sekä kuuluvuuden kannalta. Kärjistäen voidaan todeta, että kaiken kaiutinjärjestelmää edeltävän elektroniikan laatu ja suorituskyky menettää merkityksensä, ellei kaiutinderatkaisu toimi. [4, s. 109.]

Kaiuttimen tehtävä on muuttaa vahvistetun äänisignaalin jännitevaihtelut ilmanpaineen muutoksiksi eli kuulluksi ääneksi. Toimintaperiaate on sama kuin dynaamisessa mikrofoniissa, mutta päinvastainen. Voimakkaassa magneettikentässä olevaan puhekelaan syötetty äänisignaali saa kelan värähtelemään edestakaisin, jolloin kelaan kiinnitetty kartio liikkuu ja aiheuttaa ilmanpaineen vaihteluita, joka aistitaan äänenä. Kuvassa 17 on esitetty dynaamisen kaiuttimen toimintaperiaate.



Kuva 17. Dynaamisen kaiuttimen toimintaperiaate

Puhekelan edestakaisen värähtelyn nopeus on suhteessa kuullun äänen taajuuteen. Mitä nopeammin kela värähtelee, sitä korkeammalla taajuudella toistettu ääni kuullaan. Kelan ja kartion fyysinen koko vaikuttaa myös kuullun äänen taajuuteen.

Mitä pienempi kela ja kartio ovat, sitä huonommin ne toistavat matalia taajuuksia, kun taas pienemmät kelat ja kartiot toistavat hyvin korkeita taajuuksia. Tästä syystä on olemassa erikokoisia kaiuttimia.

Kaikki kaiuttimet eivät kuitenkaan toimi dynaamisella toimintaperiaatteella. On myös olemassa harvinaisempia tapoja toteuttaa kaiutin, esim. nauhakaiutin ja elektrostaattikaiutin, mutta näitä tapoja ei käytetä yleisäänentoistojärjestelmissä juuri lainkaan, vaan lähes kaikki toimivat dynaamisella periaatteella.

5.7.1 Koteloitu kaiutin

Puhekielessä sanalla kaiutin harvemmin tarkoitetaan yksittäistä kaiutinkomponenttia tai kaiutinelementtiä. Yleensä tarkoitetaan koteloitua kaiutinta, joka sisältää useampia kaiutinkomponentteja, jakosuotimen sekä erilaisia rakenteellisia ratkaisuja äänenlaadun ja suuntaavuuden parantamiseksi.

Monitiekaiuttimet

Kaiuttimen erottelevuuden ja laadukkaan toiston kannalta on kehitelty monitiemenetelmä. Monitiemenetelmässä kaiuttimen toistama taajuusalue on jaettu osiin eri elementtien kesken. Kuvassa 18 on esitetty 2-tiekaiutin, joka on tyypillinen ratkaisu. 2-tiekaiutimessa toistettava taajuusalue on jaettu kahteen osaan, toinen elementti toistaa matalat taajuudet, toinen elementti toistaa korkeat taajuudet. Tämän taajuusalueen jaon tekee mahdolliseksi jakosuodin, joka on yleensä sisäänrakennettuna monitiekaiuttimissa.



KUVA 18. 2-tiekaiutin [10]

Tyypillisesti yhteen kaiuttimeen varataan yksi vahvistinkanava. On myös olemassa monitiekaiuttimia, joiden kytkennässä on mahdollista tehdä BI-AMP-kytkentä. Tällöin kaiuttimen jokainen jaettu taajuusalue saa oman vahvistinkanavan. Tällä tavalla saadaan edelleen parannettua kaiuttimen suorituskykyä.

Koteloinnin merkitys

Kaiutinelementin hyötysuhde on melko huono elementin ollessa vapaassa kentässä. Koteloinnin avulla pystytään parantamaan tätä hyötysuhdetta sekä suuntamaan ääni haluttuun suuntaan.

Erilaisia kotelon rakennetapoja ovat mm. suljettu kotelo, bassorefleksikotelo, kaksoinkammiokotelo, torvi sekä pilari. Kaikissa näissä rakennetavoissa on omat hyvät ja huonot puolensa, joten eri rakennetavat ovatkin vakiintuneet toistettaville taajuusalueille. Samassa kaiutinkotelossa saattaa siis olla käytettynä useampaa rakennetapaa esim. bassorefleksikotelo matalille äänille ja torvi korkeille äänille.

Aktiivikaiutin

Aktiivikaiutin on kaiutin, joka sisältää jakosuotimen sekä omat sisäänrakennetut päätevahvistimet joka taajuusalueelle. Aktiivikaiutinta ohjataan siis pelkästään esivahvistetulla äänisignaalilla. Aktiivikaiuttimen suurin etu on sen komponenttien yhteensopivuus. Kaikki kaiuttimeen sovitettut komponentit on suunniteltu ja mitoitettu toisiaan varten. Tällöin kaiutinjärjestelmästä saadaan tehokas, mutta myös energiataloudellinen.

5.7.2 Kaiuttimen sähköiset ominaisuudet

Kaiuttimella on monta tärkeää sähköistä ominaisuutta. Näistä tärkeimmät ovat tehonkesto, herkkyys, taajuusvaste ja impedanssi.

Tehonkesto

Kaiuttimen tehonkesto on suure, joka ilmaisee kaiuttimen kykyä kestää päätevahvistimelta saatua sähköistä tehoa. Kaiuttimen tehonkeston yksikkö on watti

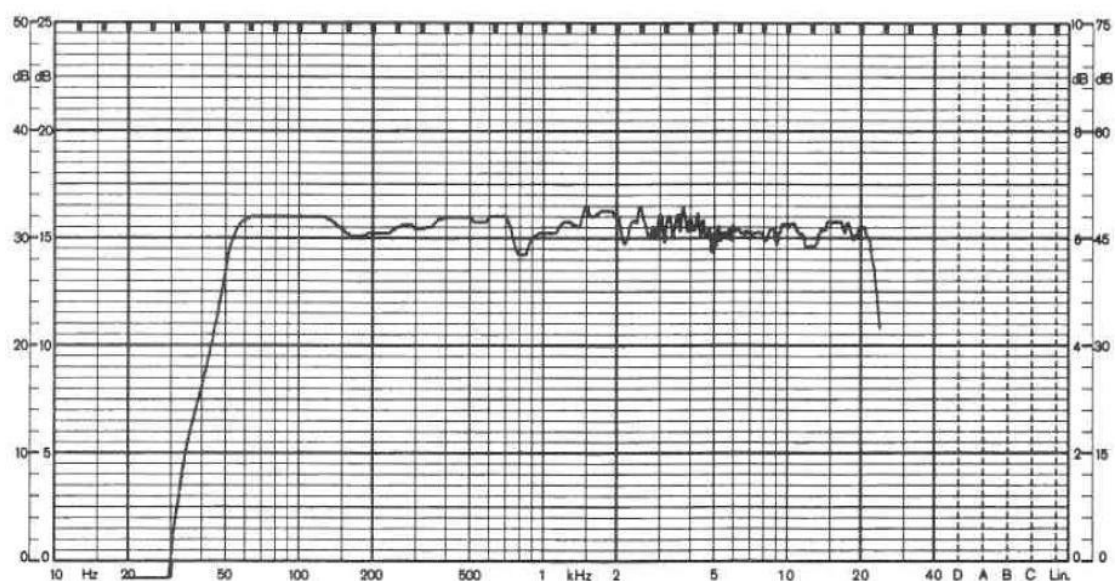
(W). Tyypillisesti kaiuttimelle ilmoitetaan jatkuva tehonkesto (RMS), sekä hetkellinen tehonkesto (PEAK). Tehonkesto ei välttämättä yksinään kerro juurikaan kaiuttimen suorituskyvystä. Yleisesti ottaen voidaan pitää kuitenkin sääntönä, että mitä enemmän äänenpainetta halutaan erityisesti matalimmilla taajuuksilla, sitä enemmän on kaiuttimen pystyttävä kestäämään sähköistä tehoa.

Herkkyys

Kaiuttimen herkkyys kuvastaa kaiuttimen hyötysuhdetta eli paljonko kaiuttimeen syötetyllä sähköisellä teholla saadaan aikaan akustista tehoa. Herkkyys ilmoitetaan tavallisesti äänenpaineentasona, joka on mitattu mainitulla etäisyydellä ja sijainnilla kaiuttimen akustiseen keskipisteeseen nähden ja ilmoitetulla sähköisellä syöttöteholla.

Taajuusvaste

Kaiuttimen taajuusvaste ilmaisee kaiuttimen kykyä toistaa eri taajuuksia suhteessa toisiinsa. Taajuusvaste mitataan suoraan kaiuttimen edestä vapaassa kentässä, ja se ilmoitetaan yleensä sekä lukuina että graafisesti. Lukuesityksessä esitetään kaiuttimen taajuusvasteen ylä- ja alarajataajuudet sekä vaihtelun laajuus esim. 80–20000 Hz ± 3 dB. Hyvä taajuusvaste on taajuusalueeltaan mahdollisimman laaja sekä muodoltaan mahdollisimman suora, jolloin kaiuttimen herkkyys on sama kaikilla taajuuksilla. Kuvassa 19 on esitetty laadukkaan tarkkailukaiuttimen erittäin tasainen taajuusvaste.



KUVA 19. Laadukkaan tarkkailukaiuttimen taajuusvaste [4, s. 112]

Impedanssi

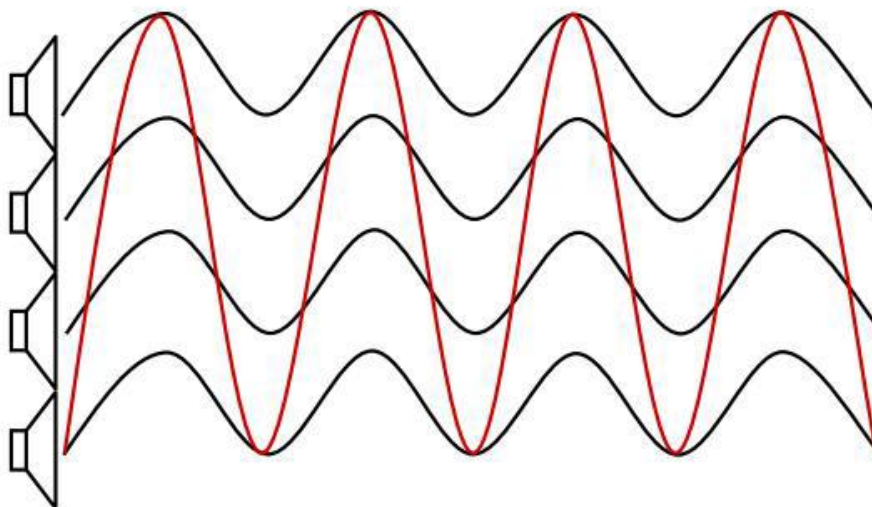
Kaiuttimen impedanssi on kaiuttimen sisäinen vaihtovirtavastus, jonka yksikkö on ohmi (Ω). Impedanssilla on merkitystä sovitettaessa kaiutinta yhdessä vahvistimen kanssa. Impedanssin muuttuessa muuttuu myös vahvistimen antama teho. Mitä pienempi impedanssi on, sitä suurempi teho saadaan vahvistimesta irti. Kaiuttimen impedanssin ollessa pieni vaaditaan vahvistimelta hyvää suorituskykyä. Vahvistimesta riippuen 1–2 Ω on pienin mahdollinen impedanssi, minkä vahvistimeen voi sovittaa.

Kaiuttimen impedanssin ollessa hyvin suuri, on mahdollista kytkeä useampi kaiutin rinnakkain samaan vahvistinkanavaan oikean tehosovituksen saavuttamiseksi. Näin ollen kaiutinkytkenän kokonaisimpedanssi pienenee ja vahvistimesta saadaan enemmän tehoa irti.

5.7.3 Linjasäteilijät

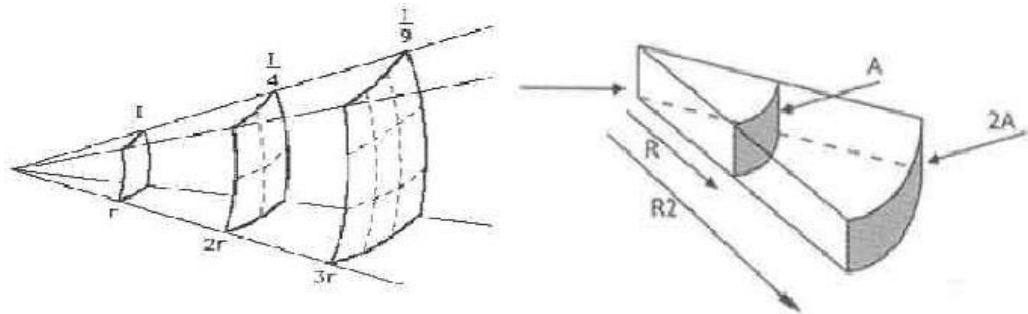
Linjasäteilijä on erikoiskaiutin, joka on 1950-luvulla keksitty, mutta vasta 2000-luvulla käytössä yleistynyt ja siitä asti noston suosiotaan Suomessa ammattiaänentoistossa.

Linjasäteilijässä pistemäisiä äänilähteitä sijoitetaan lähekkäin suoraksi linjaksi, syntyy yhtenäinen äänilähde, jolla on sama amplitudi ja vaihe koko linjan pituudella. Kuvassa 20 on esitetty linjasäteilijän toimintaperiaate. [4, s. 141.]



KUVA 20. Linjasäteilijän toimintaperiaate

Tämä rakennetavan ansiosta muuttuu kaiuttimen suuntaavuus. Perinteiseen pistemäiseen äänilähteeseen verrattuna linjasäteilijän suuntakuvio muuttuu taajuuden noustessa siten, että vertikaalisäteilykulma alkaa kaventua horisontaalikulman jäädessä samanlaiseksi kuin pistemäisellä äänilähteellä. Kuvassa 21 on esitetty pistemäisen äänilähteen ja linjasäteilijän suuntakuvioiden erot.



KUVA 21. Pistemäisen äänilähteen ja linjasäteilijän suuntakuvioiden erot [4, s. 141, 142]

Tämä rakennetapa aiheuttaa myös muutoksen äänen vaimenemisessa tavalliseen pistemäiseen äänilähteeseen nähden. Kuten jo kappaleessa 2.6 todettiin, pistemäisestä äänilähteestä lähtevä ääni vaimenee ilmassa edetessään 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Linjasäteilijästä lähtevä ääni vaimenee tiettyyn pisteeseen kuitenkin vain puolet siitä, eli 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa.

Nämä kyseiset ominaisuudet tekevät linjasäteilijästä varsin ylivoimaisen verrattuna muihin rakenneratkaisuihin. Hyvä suuntaavuus takaa mahdollisimman pienet seinäheijastukset sisätiloissa sekä mahdollisimman pienen ympäristömelun ulkotiloissa. Pienempi vaimeneminen taas parantaa äänen kuuluvuutta kauas, joten koko kuuntelualueelle saadaan tasainen ja selkeä kuuluvuus varsin pienellä kaiutinmäärällä ja tehomäärällä perinteiseen rakenteeseen nähden. Tämä tekeekin linjasäteilijästä myös varsin energiatehokkaan kaiutinderatkaisun.

Linjasäteilijät voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: kiinteäkulmaisiin pilarikaiuttimiin, mekaanisesti säädettäviin moduulikaiutinjärjestelmiin sekä sähköisesti säädettäviin pilarikaiuttimiin.

Pilarikaiuttimet

Pilarikaiuttimessa elementit ovat sijoitettu yhteen koteloon. Pilarikaiuttimella on hyvä

pystysuuntaavuus rakenteensa ansiosta, jolloin se sopii hyvin käytettäväksi kaikuisissa tiloissa. Suuntakuvio ei ole säädettävissä, jolloin asennuksessa tulee ottaa huomioon tarkka suuntaus. Kuvassa 22 on esitetty yksittäisiä pilarikaiuttimia sekä pilarikaiuttimia erillisen matalia taajuuksia toistavan kaiuttimen kanssa.



KUVA 22. Pilarikaiuttimia [11]

Pilarikaiuttimet eivät yleensä toista hyvin matalia taajuuksia, joten käyttötarkoituksesta riippuen matalien taajuuksien toistamiseen käytetään erillistä kaiutinta. Puheen toistossa taajuusalue on kuitenkin riittävä, jopa parempi, koska matalat taajuudet voivat aiheuttaa kaikuisissa tiloissa ei-toivottua äänen sekavuutta. Pilarikaiuttimet ovat myös esteettisesti hyvä valinta pienen kokonsa ja muotonsa puolesta.

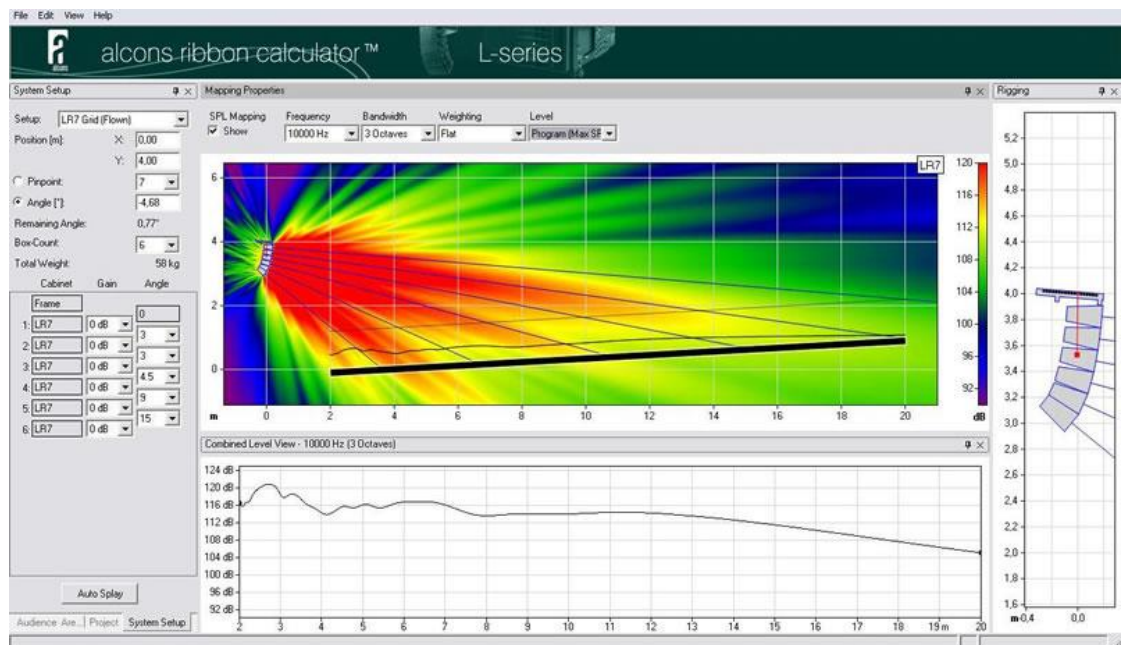
Mekaanisesti säädettävät moduulikaiutinjärjestelmät

Mekaanisesti säädettävä moduulikaiutinjärjestelmä on useammasta erillisestä kaiutinmoduulista koottu kaiutinjärjestelmä. Suurimpana etuna on mahdollisuus muokata vertikaalista suuntakuviota mekaanisesti. Tällöin on mahdollista saavuttaa erittäin tasainen äänenpaine suurellekin katselualueelle. Suuntakuvion muuttaminen tapahtuu käytännössä muuttamalla eri kaiuttimien välisiä kulmia. Näiden kulmien määrittely tehdään tilakohtaisesti. Kuvassa 23 esitetty erilaisia moduulikaiutinjärjestelmiä.



KUVA 23. Mekaanisesti säädettäviä moduulikaiutinjärjestelmiä [11]

Yleensä kulmien määrittämiseen käytetään siihen tarkoitettua mallinnusohjelmaa. Ohjelmaan syötetään tilan koko, muoto sekä kaiuttimien määrä. Ohjelma laskee niiden avulla oikean asennuskorkeuden sekä kaiuttimien väliset kulmat maksimaalisen tasaisen äänenpaineen kattavuuden saamiseksi. Monessa tapauksessa kaiutinjärjestelmän ripustaminen ilmaan on käytännössä välttämätöntä. Kuvassa 24 on esitetty moduulikaiutinjärjestelmän mallinnusohjelma.



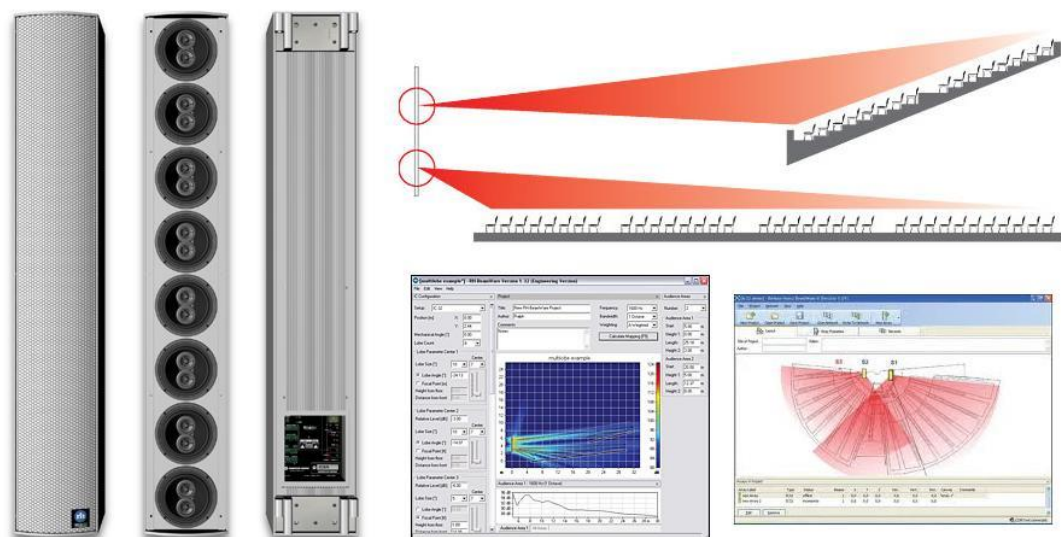
KUVA 24. Moduulikaiutinjärjestelmän mallinnusohjelma [12]

Moduulikaiutinjärjestelmä on tänä päivänä käytetyin järjestelmä tiloissa ja tapahtumissa missä kuuntelijamäärät ovat suuria ja yleisöalue on laaja. Tällaisia

käyttökohteita ovat mm. ulkoilmafestivaalit sekä live-musiikkiin tarkoitetut klubit. Järjestelmä toimii myös hyvin kaikuissa tiloissa suuntavuutensa ansiosta. Huonoina puolina verrattuna pilarikaiuttimeen todettakoon järjestelmän suurempi fyysinen koko sekä kalliimpi hankintahinta.

Sähköisesti säädettävät pilarikaiuttimet

Sähköisesti säädettävät pilarikaiuttimet ovat vasta viime vuosina kehitetyt erikoiskaiuttimet. Niiden fyysinen koko muistuttaa ulkoisesti pilarikaiutinta, mutta sähköinen toiminta on huomattavasti monimutkaisempi. Näiden kaiuttimien suuntakuviota pystytään muuttamaan sähköisesti. Tämä toteutetaan kaiuttimessa muuttamalla eri elementtien keskinäisiä taso- ja vaihe-eroja, sekä viivästämällä eri elementtejä. Kuvassa 25 on esitetty sähköisesti säädettävä pilarikaiutin.



KUVA 25. Sähköisesti säädettävä pilarikaiutin. [11]

Sähköisesti säädettävä pilarikaiutin kaiutin on aina aktiivikaiutin. Kaiuttimessa oleva monikanavavahvistin ja digitaalinen signaaliprosessori mahdollistavat monimutkaiset äänen muokkaukset. Näiden parametrien määrittämiseen kaiuttimen mukana tulee oma mallinnusohjelmisto, millä sähköinen suuntaus toteutetaan.

Kaiuttimen perusideana on, että toistettava ääni voidaan suunnata juuri sinne missä kuuleva yleisö sijaitsee ja näin ollen pystytään lähes täysin eliminoimaan häiritsevät äänen heijastumiset. Kaiutin on myös esteettisesti paras vaihtoehto. Fyysinen koko on pilarikaiuttimen lailla pieni ja huomaamaton, mutta myös asennuspaikka voidaan

määrittää vieläkin huomaamattomammaksi verrattuna pilarikaiuttimeen. Tämä kaiutin onkin suunniteltu käyttötarkoitukseltaan erittäin vaikea-akustisiin tiloihin, missä esteettisyys on myös tärkeää. Hankintahinnaltaan nämä kaiuttimet sijoittuvat pilarikaiuttimien ja moduulikaiutinjärjestelmien välimaastoon.

5.8 Äänentoistojärjestelmän muut osat

Monipuoliseen ja tehokkaaseen äänentoistojärjestelmään voidaan liittää myös monia eri osia käyttötarkoituksen mukaisesti. Tärkeimmät näistä ovat norminmukainen äänihälytysjärjestelmä sekä huonokuuloisille tarkoitettu äänijärjestelmä.

5.8.1 Norminmukainen äänihälytysjärjestelmä

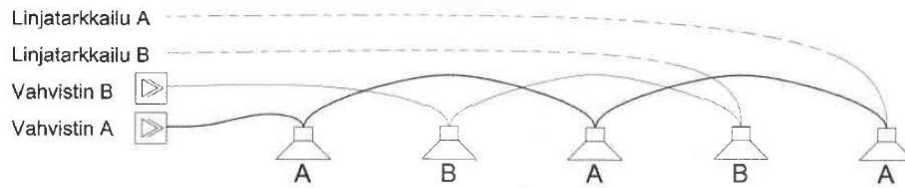
Norminmukaisella äänihälytysjärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa korvataan palokellot ja sireenit selkeällä puheviestillä äänentoistojärjestelmän kautta. Koska julkisissa rakennuksissa vierailevia ihmisiä ei ole mahdollista kouluttaa hätätilanteisiin, ennalta nauhoitettu selkeä ohjeistava viesti nopeuttaa ihmisten opastuksessa hätätilanteen sattuessa.

Eu on julkaissut vuonna 1998 IEC-EN60849-standardin, joka astui Suomessa voimaan SESCO ry:n voimaansaattoilmoituksella 1.1.2001. Standardin SFS-EN60849 tarkoituksena on määritellä suorituskykyvaatimukset äänijärjestelmille, jotka on ensisijaisesti tarkoitettu jakamaan tietoa ihmishenkien suojelemiseksi yhdellä tai useammalla määrätyllä alueella hätätilanteissa. [4, s. 30.]

Laitteiston vaatimukset

Jotta äänijärjestelmä pystyisi täyttämään tarkoituksensa eli välittämään tietoa hätätilanteessa, esim. tulipalon aikana, edellyttää standardi, että järjestelmällä on toissijainen käyttövoimalähde, yleensä akut, jotka otetaan käyttöön automaattisesti ensisijaisen jännitelähteen petettyä. Järjestelmän on myös tarkkailtava omaa tilaansa ja kaiutinverkon kuntoa jatkuvasti sekä annettava vikailmoitus viasta 100 sekunnin kuluttua sen havaitsemisesta. Standardi toteaa myös, että ”yksittäisen vahvistimen tai kaiutinkaapeloinnin vikaantuminen ei saa aiheuttaa kyseisen kaiutinryhmän peittoalueen menettämistä kokonaan”. Tämä edellyttää yleensä kahden kaiutinkiirin

asentamisen tai vähintäänkin automaattisesti käyttöönotettavan varavahvistimen liittämistä järjestelmään. Kuvassa 26 on esitetty kahdennetun kaiutinlinjajärjestelmän toimintaperiaate. [4, s. 32.]



KUVA 26. Kahdennetun kaiutinlinjajärjestelmän toimintaperiaate [4, s. 31]

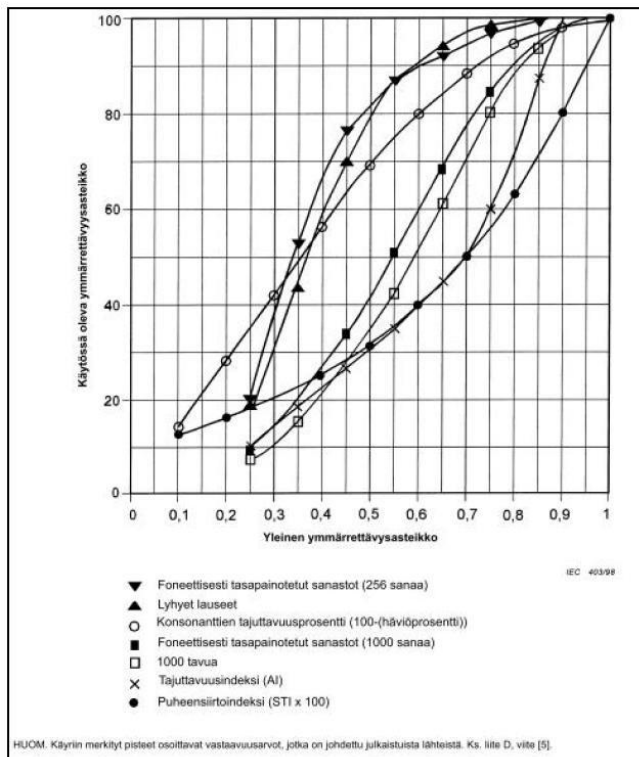
Järjestelmän täydellistä kahdentamista ei kuitenkaan vaadita, vaan riittää, että joka toinen kaiutin toimii myös vikatapauksessa. Jotta kaiutinlinjoja voitaisiin jatkuvasti valvoa, ne tulee suunnitella yhdeksi ketjuksi, jonka loppupäästä seurataan mittasignaalin läsnäoloa. [4, s. 32.]

Hätäviestit ja niiden ymmärrettävyys

Automaattisesti lähetettäville viesteille on myös määritelty tietyt ehdot, jotka koskevat niin hälytys-signaaleita ja puheviestejä kuin signaalien toistuvuutta ja taukojen kestoakin. Itse viesteistä todetaan, että kaikkien viestien tulee olla selkeitä, lyhyitä, yksiselitteisiä ja mahdollisimman pitkälle etukäteen suunniteltuja [4, s. 32.]

Kun ennalta äänitettyjä viestejä käytetään, ne tulee säilyttää katoamattomassa muodossa, mieluiten sähköisessä talletusmuodossa, ja niiden saatavuutta pitää jatkuvasti valvoa. Järjestelmän tulee olla suunniteltu niin, ettei ulkopuolinen lähde pääse turmelemaan tai sekoittamaan tallennettua sisältöä. Erityisenä huomautuksena standardi suosittelee, ettei käytettäisi talletusvälinettä, joka on riippuvainen mekaanisista laitteista [4, s. 32.]

Standardi kiinnittää erityistä huomiota äänihälytysjärjestelmällä välitettävän puheen ymmärrettävyyteen, ja tämä koskee sekä tallennettujen viestien että reaaliaikaisten kuulutusten ymmärrettävyyttä. Ymmärrettävyyden määrittämiseksi käytetään kuvassa 27 esitettyä standardin mukaista CIS-asteikkoa eli yleistä ymmärrettävyysasteikkoa.



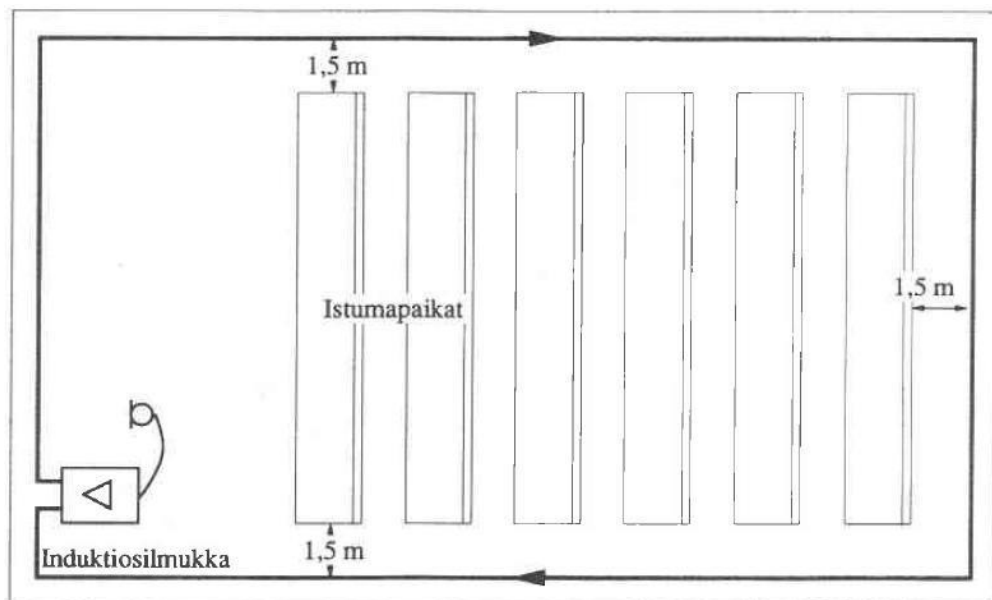
KUVA 27. Yleinen ymmärrettävyyssasteikko [SFS-EN60849]

Puheen ymmärrettävyys mitataan äänijärjestelmästä akustisella mittauksella. Standardin mukaan puheen ymmärrettävyys tulee olla vähintään 0,7 CIS-asteikolla. Yleisesti mittauksissa käytetään myös STI-arvoa, joka tulee kuvan 27 myötä olla vähintään 0,5.

5.8.2 Huonokuuloisten äänijärjestelmä

Huonokuuloisille voidaan välittää akustista informaatiota joko induktiivisella, radiotaajuisella tai infrapunatekniikkaan perustuvalla järjestelmällä. Infrapuna- ja radiotekniikkaan perustuvat järjestelmät ovat etupäässä ryhmäkuuntelujärjestelmiä ja edellyttävät erillisiä vastaanottimia. Vastaanottimet kytketään kuulokkeisiin tai yksilöllisiin kuulokojeisiin. [4, s. 162.]

Yleisin menetelmä on induktiivinen järjestelmä, jossa tilaan asennetaan silmukkalanka. Silmukkaan syötetty virta aikaansaa tilaan magneettikentän, jonka voimakkuus riippuu virran voimakkuudesta sekä tarkastelupisteen etäisyydestä lankaan. Tätä järjestelmää kutsutaan induktiosilmukaksi. Kuvassa 28 on esitetty induktiosilmukan sijoitus kuuntelutilaan.



KUVA 28. Induktiosilmukan sijoitus kuuntelutilaan [4, s. 163]

Kuulokojeessa, kuulovammaisten korvaan asetettavassa apuvälineessä, on kytkin, jolla koje kytketään toimimaan joko induktiivisena tai akustisena vastaanottimena. Edellisessä tapauksessa kojeen pieni induktiokela vastaanottaa magneettikentän signaalin ja koje vahvistaa sen. Jälkimmäisessä tapauksessa on käytössä kojeen oma mikrofoni. [4, s. 38.]

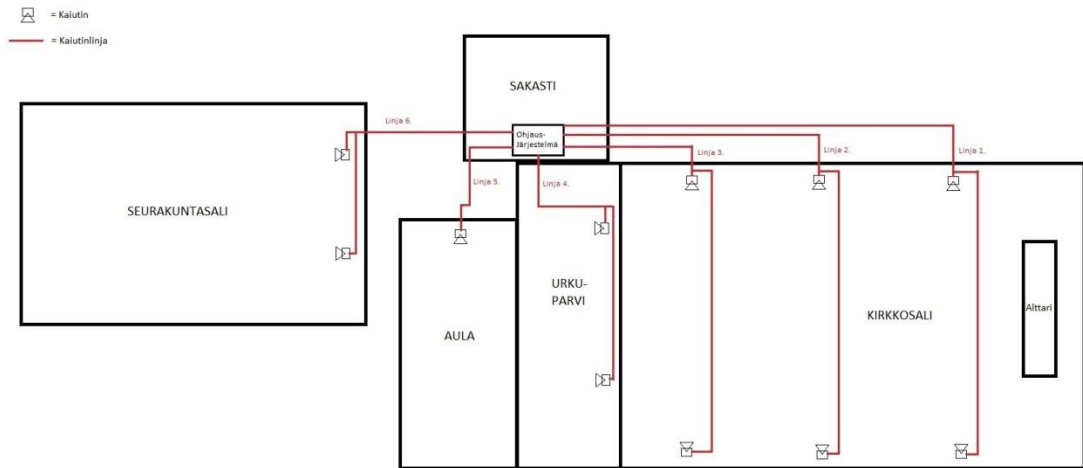
6 VAAJAKOSKEN KIRKKO

Vaajakosken kirkko on vuonna 1954 vuonna rakennettu torniton pitkäkirkko Vaajakoskella, Jyväskylän läheisyydessä. Kirkko on peruskorjattu 1980-luvun alussa ja sitä on myös laajennettu vuonna 2001. Kirkossa on kirkkosalin lisäksi erillinen sakasti, seurakuntasali sekä erilaisia toimisto-, kerho- ja partiotiloja.

6.1 Kirkon äänentoistojärjestelmä

Kirkossa käytetään puheen kuuluvuuden vahvistamiseen sekä eri ohjelmälähteiden toistoon äänentoistojärjestelmää. Laitteistossa olevien kuuden eri mikrofoniin sekä cd- ja kasettisoittimen avulla voidaan parantaa äänen kuuluvuutta jumalanpalveluksissa, kirkollisissa tilaisuuksissa sekä erilaisissa puhe- ja musiikkiesityksissä.

Äänentoistojärjestelmän pääpaino on kirkkosalissa, jossa valtaosa toistettavista ohjelmista tapahtuu. Tarpeen tullen haluttu ohjelma voidaan kuitenkin siirtää kolmeen muuhun eri tilaan ja näin ollen lisätä ohjelman kuuluvuusaluetta. Muut tilat ovat; kirkkosalin takaosassa sijaitseva urkuparvi, sisääntuloaula sekä seurakuntasali. Kuvassa 29 on esitetty luonnos äänentoistojärjestelmän sijoittelusta kirkossa.



KUVA 29. Äänentoistojärjestelmän sijoitus kirkossa

Tärkein em.tiloista äänentoiston kannalta on kuitenkin kirkkosali, joka 200 hengen yleisökapasiteetiltaan on tiloista ylivoimaisesti suurin sekä toiminta-asteeltaan käytetyin. Näistä syistä kirkkosali tarvitseekin ehdottomasti toimivan äänijärjestelmän kuuluvuuden kattamiseksi. Kuvassa 30 on esitetty kirkkosali.



KUVA 30. Vaajakosken kirkon kirkkosali

Salin akustiikka on suunniteltu vahvistamaan kuoromusiikin sointumista sekä kirkkourkujen paineilmalla tuottamaa ääntä. Seinien sekä lattian materiaalit ovat kovaa kiviainesta, joten ne absorboivat ääntä huonosti ja taas heijastavat ääniaallot hyvin takaisin saliin. Tästä syystä salin kaiunta-aika on hyvin pitkä. Tämä tekee tilasta erityisen haastavan toimivan äänentoiston kannalta.

6.2 Laitteisto

Kirkon äänentoistojärjestelmä muodostuu kokonaisuudessaan mikrofoneista, äänilähteistä, ohjausjärjestelmästä, kaiutinlinjoista sekä induktiosilmukasta.

6.2.1 Mikrofonit ja ohjelmälähteet

Järjestelmässä on kaiken kaikkiaan kuusi on mikrofonia ja kaksi on ohjelmälähdettä.

Mikrofoneja on kolmea erilaista. Neljä mikrofoneista on yleiskäyttöön tarkoitettuja langallisia haulikkomikrofoneja. Näiden pääasiallisena tarkoituksena on toimia kiinteästi sijoitettujen äänilähteitten muodostamien äänten poimijoina. Kiinteä kohde on esimerkiksi saarnatuoli, jossa mikrofonin on tarkoitus poimia puhujan puheääni. Myös salissa käytetyn pianon äänen poimimiseen käytetään kyseistä mikrofonia.

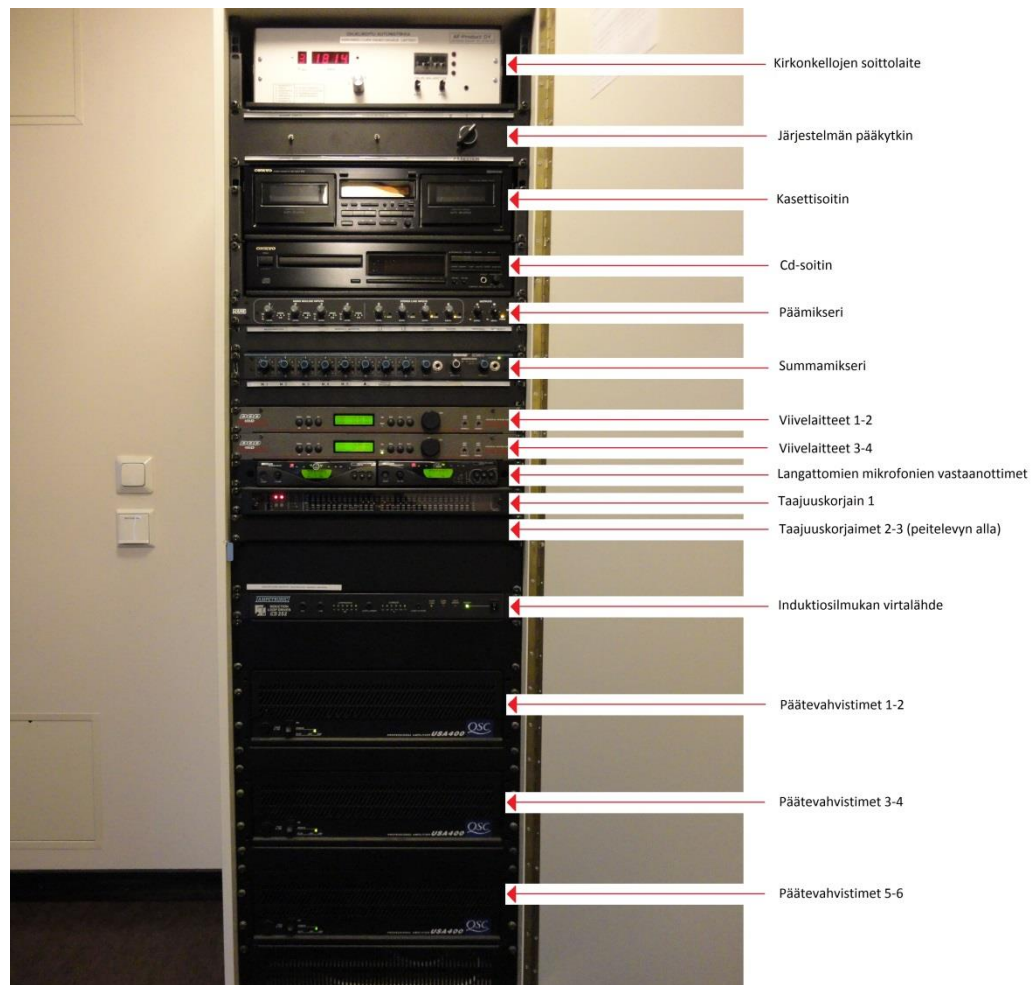
Kaksi muuta ovat langattomia, toinen kädessä pidettävä kapulamalli ja toinen päähän laitettava pantamalli. Kummankin langattoman suuntakuvio on hertta. Langattomia mikrofoneja käytetään silloin, kun puhujan tarvitsee liikkua ohjelman aikana. Päässä pidettävä pantamallinen mikrofoni mahdollistaa myös puhujan molemmat kädet vapaaksi, mikäli puhuja näin haluaa.

Ohjelmälähteenä kirkossa toimii kasetti- ja cd-soitin. Järjestelmän voidaan myös tarvittaessa liittää ulkopuolinen ohjelmälähde esim. mp3-soitin.

6.2.2 Ohjausjärjestelmä

Järjestelmän ohjaus sijaitsee sakastissa, kirkkosalin takaosassa. Ohjausjärjestelmä koostuu päämikseristä, summamikseristä, neljästä viivelaitteesta, kolmesta graafisesta

taajuuskorjaimesta sekä kolmesta stereo-päätevahvistimesta. Kuvassa 31 on esitetty laitteiston ohjausjärjestelmä.



KUVA 31. Ohjausjärjestelmä

Summamikseriin on kytketty kaikki mikrofonit, joka summaa ja vahvistaa ne yhdeksi linjatasoiseksi signaaliksi. Tämä signaali lähetetään päämikseriin. Summamikserin avulla voidaan säätää eri mikrofonien voimakkuuksia suhteessa toisiinsa.

Päämikseriin on kytketty summamikserin signaalin lisäksi suoraan kaikki ohjelmälähteet. Päämikserillä ohjataan näiden sisääntulojen voimakkuutta eli vahvistusta. Nämä signaalit lähetetään kahteen eri ulostuloon. Toinen on kytketty kaiutinlinjojen 1-5 vahvistinkanaviin, toinen kaiutinlinja 6:n vahvistinkanavaan ja induktiosilmukkaan.

Viivelaiteet viivästävät eri kaiutinlinjojen keskinäisiä aikaeroja. Viivelaiteita 1-4 käytetään kaiutinlinjoihin 1-4. Graafisia taajuuskorjaimia käytetään muokkaamaan

äänen taajuusvastetta. Taajuuskorjaimet 1-3 muokkaavat kaiutinlinjojen 1-4 taajuusvastetta.

Päätevahvistimia laitteistossa on kolme kappaletta. Kaikki päätteet ovat stereopäätteitä, joten niissä on kaksi erillistä vahvistinta kussakin. Jokaiselle kaiutinlinjalle löytyy tällöin oma vahvistinkanava. Päätteiden avulla voidaan näin ollen muokata vielä kaiutinlinjojen keskinäisiä voimakkuuksia.

6.2.3 Kaiutinlinjat ja induktiosilmukka

Kirkon äänentoistojärjestelmässä on kaiuttimia kokonaisuudessaan 11 kappaletta. Kuten jo kuvassa 29 todettiin, kaiuttimet on jaoteltu kuuteen eri kaiutinlinjaan käytettävyyden ja äänenlaadun parantamiseksi. Kaiuttimia on kaikenkaikkiaan kolmea eri mallia. Parven, aulan ja seurakuntasalin kaiuttimet ovat 2-tiekaiuttimia, jossa elementtien toisto on jaettu kahteen eri taajuusalueeseen. Kotelo on rakenteeltaan suljettu ja vakiosuuntaava, eli ääni aukeaa sekä pysty- että leveyssuunnassa saman verran.

Kirkkosalissa on käytetty kahta eri kaiutintyyppiä. Kuvassa 32 on esitetty kirkkosalin kaiuttimet.



KUVA 32. Kirkkosalin kaiuttimet

Kaiutinlinja1:ssä on pääkaiuttimet, jotka ovat kooltaan ja tehonkestoltaan järjestelmän

suurimmat. Kaiutin on tyypiltään 2-tie kaiutin ja kotelo on suljettu. Kotelossa on myös diskantin suuntaavuuteen käytetty torvea. Kaiutinlinjat 2-3 toimivat viivelinjoina pääkaiuttimille. Nämä kaiuttimet ovat kokoäänialue-kaiuttimet. Kotelo on tyypiltään refleksi.

Kirkkosaliin on asennettu myös induktiosilmukka. Silmukan vahvistusta ohjataan sakastista, ohjausjärjestelmä-kaapista. Silmukka kiertää salin istuma-alueen ympärillä, jossa kuulorajoitteinen käyttäjä saa tarvittaessa signaalin kuulokojeeseensa.

6.3 Äänentoiston ongelmat ja ratkaisut

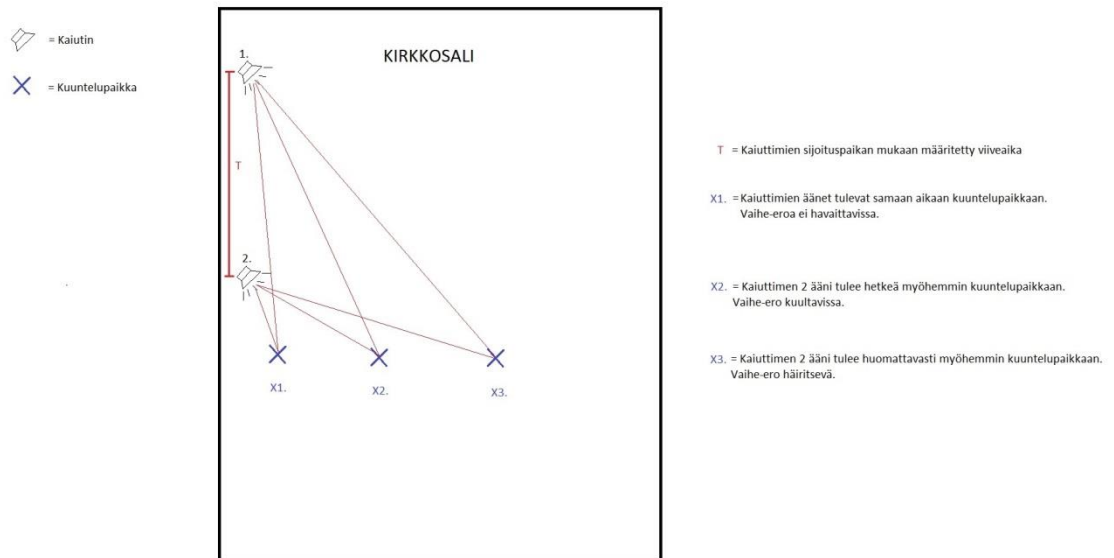
Kirkossa käytettävän äänentoistojärjestelmän käytössä ja toiminnassa on esiintynyt ongelmia, mistä syystä äänentoistoa tarvitsevien ohjelmien ulosanti kärsii. Suurimmat ongelmat kohdistuvat juurikin kirkkosalissa sijaitsevaan äänentoistoon. Ongelmia ovat äänentoistojärjestelmän äänen laatu ja kuuluvuus, akustiset kierto-ongelmat sekä ongelmat järjestelmän käytettävyydessä ja käyttäjissä.

6.3.1 Kirkkosalin äänen laatu ja kuuluvuus

Kirkkosali on akustiikaltaan vaikea äänentoiston kannalta. Kovat rakennemateriaalit, sekä tilan muoto aiheuttavat äänen heijastumisen tilassa sekä huonon absorboitumisen, joten äänen kaiunta-aika on pitkä. Tällaisissa tiloissa tulisikin kiinnittää erityisesti huomiota käytettävien kaiuttimien valintaan.

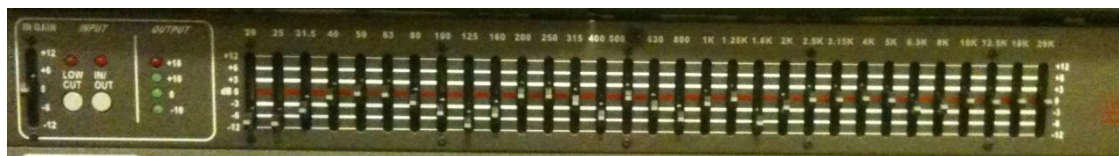
Tällä hetkellä käytössä oleva kaiutinjärjestelmä on monella tapaa huono valinta kyseiseen tilaan. Järjestelmässä on koko salin äänen kattavuus toteutettu lisäämällä kaiuttimien määrää. Kuitenkin, mitä enemmän kaiuttimia on käytössä, sitä enemmän on äänen heijastumista aiheuttavia äänilähteitä. Kaikki kaiuttimet ovat rakennetavaltaan pistemäisiä äänilähteitä, joten äänen vuoto tilaan voimistuu entistä enemmän. Lisäksi salissa on käytetty kahta eri mallista kaiutinta, joiden sähköiset ominaisuudet kuten taajuusvaste ovat täysin erilaiset. Tästä syystä joka puolella salia äänen laatu on erilainen. Pahin tilanne on salin keskiosassa, jossa kaiutinlinjat 1 sekä 2 ovat kuultavissa. Näiden linjojen kaiuttimien keskinäiset erot aiheuttavat ääneen pahoja vääristymiä. Jokaiselle salissa sijaitsevalla kaiutinlinjalle on myös määritetty oma aika viive-laitteiden 1-3 avulla. Viiveiden avulla edestä tulevan äänen olisi

tarkoitus pysyä samassa vaiheessa koko matkan salin perälle asti. Viiveajat on määritelty kaiuttimien sijoituspaikkojen välisten etäisyyksien avulla. Kaiuttimien 45 asteen vertikaalinen suuntaus aiheuttaa kuitenkin etäisyyden muutokseen merkittävän eron kun kuuntelupaikkaa muutetaan salissa sivuttaissuunnassa. Tämä on kuultavissa salin keski-osassa vaihevääristymänä. Kuvassa 33 on havainnollistettu viiveajan muutosta salissa.



KUVA 33. Viiveajan muutos sivuttaissuunnassa

Käytössä olevien kaiuttimien taajuusvastetta on myös muokattu taajuuskorjaimien avulla. Kaiuttimien eroavaisuuksista ja asennuksessa sattuneiden virheiden takia vääristynyttä taajuusvastetta on yritetty korjata. Erityisesti pääkaiuttimien taajuusvastetta on muokattu radikaalisti. Liiallinen taajuusvasteen muokkaus kuitenkin tekee äänen laadusta ohuemman ja näin ollen huonontaa äänen kuuluvuutta. Kuvassa 34 on esitetty pääkaiuttimien taajuuskorjaimen asetus.

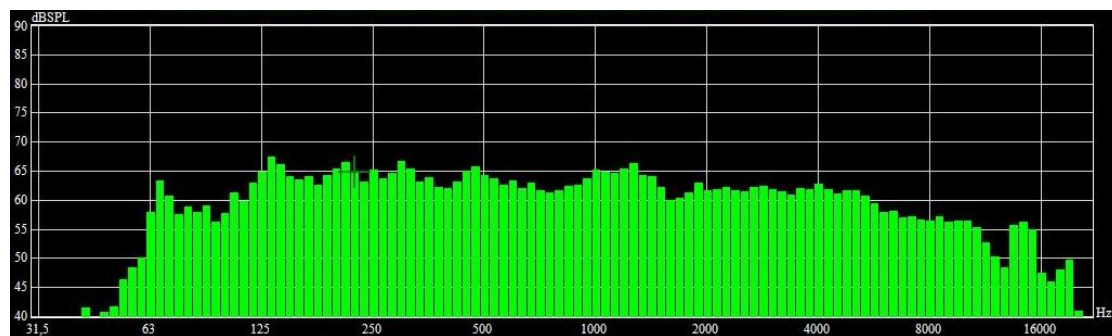


KUVA 34. Pääkaiuttimien taajuuskorjaimen asetus

Kuvasta voidaan todeta taajuusvasteen radikaali muokkaus. Taajuuskohtaisesti on tehty jopa 12 desibelin vaimennuksia. Näin suuret vaimennukset vaikuttavat merkittävästi äänen laatuun ja heikentävät sen kuuluvuutta. Kyseessä voi olla myös tiettyjen mikrofoniin akustisen kierron eliminointi. Kaiutinlinjassa oleva

taajuuskorjain kuitenkin vaikuttaa kaiuttimen taajuusvasteeseen, joten kaikki käytössä olevat ohjelmälähteet ja mikrofonit joutuvat tämän vaimennuksen alaiseksi.

Nämä kaikki edellämainitut ongelmat tekevät salin äänenlaadusta varsin huonon. Tämä on havaittavissa myös pääkaiuttimille tehdyssä taajuusvastemittauksessa. Kuvassa 35 on esitetty käytössä olevien pääkaiuttimien taajuusvasteen mittaus salin keskiosasta.



KUVA 35. Salin pääkaiuttimien taajuusvaste

Mittaus on tehty vasemman puolen kaiuttimen keskiakselilta, istuinriviltä 6, jossa äänen laatu on optimi. Kuvasta on havaittavissa radikaalin taajuuskorjaimen käytöstä johtuvat poikkeamat vasteessa.

Yhdestä paikasta mitattu taajuusvaste ei kuitenkaan ole oleellinen tieto kokonaisuutta tarkastellessa, koska taajuusvaste on kuuntelupaikasta riippuen erilainen. Tärkeämpi tieto on taajuusvasteen keskiarvo salissa, joka mitataan useasta paikasta. Kuvassa 36. on esitetty taajuusvasteen keskiarvo.



KUVA 36. Salin äänentoistojärjestelmän taajuusvasteen keskiarvo

Keskiarvon mittaus on suoritettu kuudesta pisteestä. Mittauspisteet sijaitsevat istuinriveillä 1, 3, 6, 9, 12 ja 14. Mittauspisteen sijainti sivuttaissuunnassa on keskellä istuinriviä, kuuntelukorkeudella. Mittaustuloksesta voidaan havaita huonoon äänen laatuun vaikuttavat tekijät. Taajuusvasteen tulisi olla mahdollisimman tasainen kaikilla taajuuksilla. Tuloksesta voidaan kuitenkin havaita korostumaa 100–160 hertsin alueella. Tämä on kuultavissa kirkossa matalana kuminana, mikä tekee äänestä varsin epäselvän. Toinen merkittävä havainto on taajuuden lineaarinen aleneminen 2000 hertsistä ylöspäin. Tämä on puolestaan havaittavissa äänen tunkkaisuutena ja kirkkauden puutteena.

Toinen merkittävä ongelma kirkkosalin äänentoistossa on äänen kuuluvuus. Tässäkin ongelmassa huomio kiinnittyy käytössä oleviin kaiuttimiin. Äänen laatuun vaikuttavat tekijät tekevät itsessään jo paljon vaikutusta äänen kuuluvuuteen, mutta myös käytössä olevien kaiuttimien ominaisuudet ja asennustapa huonontavat tätä edelleen.

Pääkaiuttimet on suunnattu salin etuosaan, jolloin takaosa jää lähes täysin niiden peittoalueen ulkopuolelle. Kaiutinlinjoilla 2 ja 3 on yritetty kattaa tämä alue, mutta kaiuttimien teho on riittämätön. Tämä esiintyy erityisesti mikrofoneja toistettaessa, jolloin äänilähteiden tuottamassa äänessä on dynamiikkaa varsin paljon, joka vaatii kaiuttimelta suorituskkyä. Käytössä olevissa vahvistimissa kyllä riittäisi tehoa suurempaan äänenpaineeseen, mutta kaiuttimista kertakaikkiaan loppuu tehonkesto kesken. Liiallinen tehonsyöttö kaiuttimeen aiheuttaa puolestaan äänen säröytymisen, mikä taas tekee toistettavasta mikrofonista erityisen herkän akustiselle kierrolle.

Salin takaosassa ääni vaimenee siis merkittävästi. Yksinkertaisella äänenpaineen mittaukselle saadut tulokset puhuvat puolestaan. Taulukossa 4 on esitetty mittaustulokset äänen vaimenemisesta salissa.

TAULUKKO 4. Äänen vaimeneminen salissa

MITTAUSPAIKKA	ÄÄNENPAINE (dB A slow)
1.rivi	82.0
3.rivi	81.3
6.rivi	80.5
9.rivi	79.3
12.rivi	78.9
14.rivi	78.2

Myös taajuusvaste muuttuu kuuntelupaikan muuttuessa. Tämä on huomattavissa erityisesti salin takaosassa, joka on katettu pienemmillä kaiuttimilla. Korkeammat taajuudet vaimenevat voimakkaammin, mitä taaempaan kuuntelupaikka on salissa.

Ratkaisu

Kaikuisissa tiloissa tulisi käyttää mahdollisimman suuntaavia kaiuttimia heijastusten vähentämiseksi. Tästä syystä linjasäteilijä on varsin hyvä vaihtoehto. Salin yksinkertaisen muodon sekä käyttötarkoituksen vuoksi pilarikaiutin toimii varsin hyvin tilassa. Myös esteettisyyden puolesta pilarikaiutin on varsin huomaamaton ratkaisu kokonsa ja rakenteensa puolesta. Lisäksi linjasäteilijän äänen paremman kantavuuden vuoksi kaiutinmäärää voidaan vähentää järjestelmässä, mikä tekee siitä edelleen huomaamattomamman sekä energiatehokkaamman ratkaisun. Kuvassa 37 on esitetty salin äänentoiston toteutus pilarikaiuttimilla



KUVA 37. Salin äänentoiston toteutus pilarikaiuttimilla

Kuvan pilarikaiutin on kaksiosainen. Varsinaisen pilarin lisäksi matalien äänien toistosta huolehtii erillinen kaiutin. Pilari-osa on jaettu kahteen osaan suunnattavuuden parantamiseksi. Käytetyt pilarikaiuttimet ovat maahantuojan esittelykaiuttimia, joten asennustapana käytettiin mahdollisimman helposti purettavissa olevaa ratkaisua. Myös väritys ei tässä kyseisessä kaiuttimessa ole tilaan sopiva.

Tällä ratkaisulla taajuusvaste tilassa on huomattavasti tasaisempi. Maltillisella taajuuskorjaimen käytöllä tilassa muodostuvat taajuusvasteen vääristymät saadaan korjattua. Koska ääni toistetaan vaan yhdestä pisteestä, vältetään myös vaihe- ja

aikaongelmilta. Linjasäteilijän äänen kantavuuden johdosta ääni on selkeä ja kirkas, jopa viimeisellä penkkirivillä asti. Kuvassa on 38 on verrattuna pilarikaiuttimen taajuusvasteen keskiarvoa alkuperäisen äänentoistojärjestelmän taajuusvasteen keskiarvoon.



KUVA 38. Pilarikaiuttimen taajuusvasteen keskiarvo suhteessa nykyiseen äänentoistojärjestelmään

Tuloksesta on havaittavissa, miten pilarikaiutin toistaa 2000 hertsistä ylöspäin olevat taajuudet tasaisesti ihmisen kuulokynnykseen asti. Nämä taajuudet ovat puheen selkeyden kannalta elintärkeitä taajuuksia, joten ero on kuunnellessa selkeästi havaittavissa. Mitattaessa äänen vaimenemista salissa ero on myös havaittavissa. Taulukossa 5 on esitetty äänen vaimeneminen salissa linjasäteilijällä suhteessa nykyiseen äänijärjestelmään.

TAULUKKO 5. Äänen vaimeneminen linjasäteilijällä

MITTAUSPAIKKA	Nykyinen järjestelmä (dB A slow)	Pilarikaiutin (dB A slow)
1.rivi	82.0	82.0
3.rivi	81.3	82.0
6.rivi	80.5	81.6
9.rivi	79.3	81.0
12.rivi	78.9	80.7
14.rivi	78.2	80.1

Tuloksista voidaan havaita, että pilarikaiuttimen äänenpaine on huomattavasti tasaisempi salissa. Nykyisen järjestelmän ääni vaimenee jo puolivälissä salia sen mitä, pilarikaiuttimella toteutettuna.

Myös ymmärrettävyyttä mitattaessa pilarikaiuttimet ovat paremmat mittauspaikasta riippumatta. Taulukossa 6 on esitettyä mitatut Sti-arvot kolmesta eri mittauspisteestä.

TAULUKKO 6. Mitatut Sti-arvot

Mittauspaikka	Nykyinen järjestelmä	Pilarikaiuttimet
1. Istuinrivi	0,574	0,59
6. Istuinrivi	0,549	0,568
14. Istuinrivi	0,5	0,538

Pilarikaiuttimen hyvän suuntaavuuden johdosta ääni voidaan suunnata sinne, missä yleisö sijaitsee. Tämä vähentää ei-toivottuja seinäheijastumia, mikä on havaittavissa parempana selkeytenä, mutta myös salin jälkikaiunta-ajan pienentymisenä. Taulukossa 7 on esitetty mitatut jälkikaiunta-ajat eri taajuuksilla.

TAULUKKO 7. Mitatut jälkikaiunta-ajat

LAITTEISTO	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Nykyinen järjestelmä	2.66 s	3.38 s	2.85 s	2.4 s	1.98 s	1.24 s	0.65 s
Pilarikaiutin	2.16 s	2.08 s	1.88 s	1.99 s	1.72 s	1.14 s	0.60 s

Jälkikaiunta-aika on mitattu 80 dB:n täyden kaistan kohinalla. Kaiunta-aika saadaan, kun äänenpaine laskee 60 dB:ä kohinan sulkeutuessa.

Kuten edellä mainituista tuloksista voidaan todeta, pilarikaiutin on joka osa-alueella parempi kaiutintratkaistu. Tärkeimpinä kriteereinä voidaan kuitenkin pitää paremman kuuluvuuden ja selkeyden saavuttamista, mikä on esitettävien ohjelmien ulosannin kannalta elintärkeää.

6.3.2 Akustiset kierto-ongelmat

Kirkkosalissa on ongelmia mikrofonien akustisten kiertojen kanssa. Ongelmat ovat havaittavissa erityisesti käytettäessä haulikkomikrofoneja, jotka eivät ole ns. lähimikrofoneja. Luonnollisesti mitä kauempana mikrofoni sijaitsee äänilähdettä, sitä enemmän se poimii myös toistettavaa ääntä, mikä on kiertoilmiön perusedellytys. Haulikkomikrofonit ovatkin yksi kiertoherkimmistä mikrofonityypeistä. Koska tilan akustiikka on akustista ääntä vahvistava, myös kaiuttimista tuleva ääni vahvistuu ja näin ollen kierron syntyminen on huomattavasti todennäköisempää.

Kierto-ongelmaa on yritetty kirkossa ratkaista laitteistossa olevien taajuuskorjaimien avulla. Kuten jo kuvassa 31 todettiin, kaiuttimien taajuusvastetta on muokattu radikaalisti. Koska käytössä olevat taajuuskorjaimet ovat kytkettynä kaiutinlinjoihin, vaikuttaa siinä tehdyt taajuusvasteen muutokset kaikkiin käytettäviin ohjelmälähteisiin ja mikrofoneihin. Näin ollen kaikkien käytössä olevien äänilähteiden äänen laatu ja kuuluvuus huononee, vaikka niissä ei olisikaan mitään ongelmaa akustisen kierron suhteen. Kaiutinlinjassa olevaa taajuuskorjainta tulisikin käyttää ainoastaan tilassa muodostuvien akustisten vääristymiseen korjaamiseen tai haluttuun äänen värittämiseen.

Ratkaisu

Koska tilan akustiikka on kiertoherkkä, ja käytössä on haulikkomikrofoneja, on mikrofoniakohtaiset taajuuskorjaimet välttämättömyys. Näin ollen ko. taajuuskorjaimet vaikuttavat ainoastaan kyseisen mikrofoniin taajuusvasteeseen, eikä muiden äänilähteiden taajuusvaste tällöin kärsi. Taajuuskorjaimien tulisi olla mielellään täysiparametrisia, jotka mahdollistavat hyvinkin hienovaraisen, mutta tehokkaan taajuusvasteen muutoksen kierto-ongelman eliminoimiseksi.

Toinen toimiva ratkaisu ongelmaan on kierronestolaite. Nykyaikaiset digitaaliset kierronestolaitteet toimivat itsenäisesti ja ovat varsin nopeita ja tehokkaita. Kierronestolaitteessa on mikrofoni, joka kuuntelee toistettavaa ääntä. Kun kierto esiintyy, laite eliminoi kiertävän taajuuden. Älykkäimmät laitteet osaavat jopa määrittää kiertävän taajuuden minimaalisen vaimennuksen, jolloin taajuusvaste säilyy mahdollisimman alkuperäisenä. Kierronestolaite on hyvä valinta silloin, kun äänilaitteen käyttäjä on kokematon. Laadukkaimmat kierronestolaitteet ovat suhteessa täysiparametriseen korjaimeen varsin kalliita, vaikkakin lopputulos on molemmilla laitteilla käytännössä sama.

Kaiuttimien sijoituksella on suuri merkitys akustisen kierron suhteen. Kaiuttimen tulisi sijaita mahdollisimman kaukana käytettävästä mikrofoniasta. Kirkkosalin kaiuttimet ovat asennettu varsin matalalle, joka tekee tilasta kiertoherkän. Linjasäteilijän voi asentaa ylemmäs, jolloin kiertoherkkyys vähenee. Tässä

tapauksessa käytettävän linjasäteilijän on oltava mekaanisesti tai sähköisesti säädettävä, jolloin toistettava ääni voidaan suunnata tasaisesti koko kuuntelualueelle.

6.3.3 Järjestelmän käytettävyys ja käyttäjät

Järjestelmän ohjaus suhteessa käyttäjiin on varsin monimutkainen. Laitteiston pääasialliset käyttäjät ovat tilan kantahenkilökuntaa, jotka ovat vailla ammatillista kokemusta äänentoistosta. Kahden erillisen mikserin käyttö tuo ohjaukseen sekavuutta sekä tilan kierto-ongelmat lisäävät onnistuneen äänentoiston haastavuutta.

Päämikseri ei ole kapasiteetiltaan riittävä saavuttamaan tarvittavaa säädettävyyttä. Induktiosilmukan ja seurakuntasalin signaalin ohjaus on samassa lähdössä, joka hankaloittaa niiden keskinäistä säädettävyyttä. Myöskään kirkkosalissa olevien kaiuttimien keskinäisiä taso-eroja ei voi säätää ohjelman ollessa käynnissä.

Ratkaisu

Nykyaikainen digitaalinen ohjausjärjestelmä on varsin monipuolinen ja helppokäyttöinen ratkaisu. Järjestelmä ohjelmoidaan etukäteen ammattilaisen toimesta ja käyttäjän tehtäväksi jää vain huolehtia äänen voimakkuuksista erillisen ohjauspaneelin avulla. Kuvassa 39 on esitetty digitaalinen ohjausjärjestelmä



KUVA 39. Digitaalinen ohjausjärjestelmä [13]

Digitaaliset järjestelmän ovat pienikokoisia ja varsin energiatehokkaita. Ne sisältävät silti huiman määrän ominaisuuksia. Tyypillisiä ovat sisääntulokohtaiset taajuussisältöön, voimakkuussuhteeseen sekä viivästämiseen vaikuttavat äänenmuokkauslaitteet. Myös kierronestolaitteita sisältäviä ohjauslaitteita on saatavilla. Järjestelmän kapasiteetti on räätälöitävissä tarvittavien sisääntulojen ja ulosmenojen tarpeiden mukaisesti.

Digitaalinen ohjausjärjestelmä on käytettävyydeltään helppo. Laitteistoa ohjataan erillisellä ohjauspaneelilla. Ohjauspaneeli voidaan ohjelmoida tapauskohtaisesti. Tyypillisesti sillä säädetään eri äänilähteiden tasoja eri kaiutinlinjoihin.

Digitaalisessa ohjausjärjestelmässä on tärkeää kiinnittää huomiota sen tarkkaan ja huolelliseen ohjelmointiin. Ohjelmointi tulee suorittaa ammattilaisen toimesta. Huolellisesti toteutettu ohjelmointi mahdollistaa laitteen helppokäyttöisyyden ja täten onnistuneen äänentoiston toteutuksen sekä käyttäjälle ja mikä tärkeintä, myös kuulevalle yleisölle.

LÄHTEET

1. Blomberg, Esa ja Lepoluoto, Ari. Audiokirja. WWW-dokumentti.
<http://ari.lepoluo.to/audiokirja>. 2005. Luettu 22.02.2012.
2. . Suntola, Silja. Luova Studiotyö. Idemco Oy. Porvoo, Painoyhtymä Oy. 2006.
3. Tuomela, Pekka. Tee itse hifikaiuttimia. Helsinki Media. WS Bookwell, Juva. 2001.
4. Leskinen, Markku ym. ST-käsikirja 19 - Äänentoistojärjestelmät. Sähkötieto ry. 2004.
5. Äänipää. WWW-sivusto. <http://www.aanipaa.tamk.fi/index.html> Päivitetty 08.02.2007. Luettu 22.02.2012.
6. Lemmetty, Sami. Audiotekniikkaa. WWW-dokumentti.
<http://koti.welho.com/slemmett/tieto/audio.htm>. Päivitetty: 23.10.2007. Luettu 24.04.2012.
7. Mikkola, Jari. Hifiopas. WWW-sivusto.
<http://www.students.tut.fi/~jmikkola/hifiopas/>. 2001. Päivitetty: 15.08.2007. Luettu 24.04.2012.
8. Meluvamman synty. Kuuloliitto ry. WWW-dokumentti.
http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/kuulonsuojelu/meluvamman_synty/. 2009. Ei päivitystietoa. Luettu 06.05.2013.
9. Microphones: Educational content. Shure Incorporated Company. WWW-dokumentti.
http://www.shure.co.uk/support_download/educational_content/microphones-basics. 2009. Ei päivitystietoa. Luettu 28.03.2012.
10. Genelec Oy 2012. Genelec 1032a tuote-esite (PDF). 2002. Luettu 25.4.2012.
11. Renkus-Heinz 2013. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.renkus-heinz.com/>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.02.2013.
12. Alcons Audio 2013. Yrityksen WWW-sivut.
<http://www.alconsaudio.com/site/index.php>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.02.2013.
13. Bose 2013. Yrityksen WWW-sivut.
http://worldwide.bose.com/pro/en_us/web/home/page.html. Ei päivitystietoa. Luettu 20.04.2013.